

## Лекция 2 Электрические аппараты

**Электрический аппарат (ЭА)** – это электрическое устройство, которое используется для включения и отключения электрических цепей, контроля, измерения, защиты, управления и регулирования установок, предназначенных для передачи, преобразования, распределения и потребления электроэнергии.

Понятие «электрический аппарат» охватывает обширный круг бытовых и промышленных устройств.

Многообразие самих аппаратов и выполняемых ими функций, совмещение в одном аппарате нескольких функций не позволяет строго классифицировать их по одному какому-то признаку.

**Классификация электрических аппаратов** может быть проведена по ряду признаков: назначению, области применения, принципу действия, роду тока, исполнению защиты от воздействия окружающей среды, конструктивным особенностям и т.д.

Основной является **классификация по назначению**, которая предусматривает разделение электрических аппаратов на следующие большие группы:

### *Классификация ЭА*

По **назначению**, области применения, принципу действия, роду тока, исполнению защиты от воздействия окружающей среды, конструктивным особенностям и т.д.

- **коммутационные аппараты** распределительных устройств, служащие для включения и отключения электрических цепей.

К этой группе относятся рубильники, пакетные выключатели, выключатели высокого напряжения, разъединители, отделители, короткозамыкатели, автоматические выключатели, предохранители.

Для аппаратов этой группы характерно относительно редкое их включение и выключение;

- **ограничивающие аппараты**, предназначенные для ограничения токов короткого замыкания (к.з.) (реакторы) и перенапряжений (разрядники). Режимы короткого замыкания и перенапряжений являются аварийными, и эти аппараты редко подвергаются наибольшей нагрузке;

- **пускорегулирующие аппараты**, предназначенные для пуска, регулирования частоты вращения, напряжения и тока электрических машин или каких-либо других потребителей электроэнергии.

К этой группе относятся контроллеры, командоконтроллеры, контакторы, пускатели, резисторы и реостаты.

Для аппаратов этой группы характерны частые включения и отключения, число которых достигает 3600 в час и более;

- **аппараты для контроля** заданных электрических и неэлектрических величин, к которым относятся реле и датчики.

Для реле характерно плавное изменение входной (контролируемой) величины, вызывающее скачкообразное изменение выходного сигнала. Выходной сигнал обычно воздействует на систему автоматики.

В датчиках непрерывное изменение входной величины преобразуется в изменение какой-либо электрической величины, являющейся выходной. Это изменение выходной величины может быть как плавным (измерительные датчики),

так и скачкообразным (реле-датчики). С помощью датчиков могут контролироваться как электрические, так и неэлектрические величины;

- **аппараты для измерений**, с помощью которых цепи первичной коммутации (главного тока) изолируются от цепей измерительных и защитных приборов, а измеряемая величина приобретает стандартное значение, удобное для измерений.

К ним относятся трансформаторы тока, напряжения, емкостные делители напряжения;

- **электрические регуляторы**, предназначенные для регулирования заданного параметра по определенному закону. В частности, такие аппараты служат для поддержания на неизменном уровне напряжения, тока, температуры, частоты вращения и других величин.

Разделение электрических аппаратов по другим признакам, например, по областям применения, более условно.

- ~ Аппараты для электрических систем и электроснабжения объединяют в группу аппаратов распределительных устройств низкого и высокого напряжения.

- ~ Аппараты, применяющиеся в схемах автоматического управления электроприводом и для автоматизации производственных процессов, объединяют в группу аппаратов управления.

Одни и те же аппараты могут быть отнесены как к группе аппаратов распределительных устройств, так и к группе аппаратов управления, например, рубильники, пакетные выключатели, контакторы, трансформаторы тока, реле и другие.

По номинальному напряжению электрические аппараты разделяются на две группы: аппараты низкого напряжения НН (до 1000 В) и высокого напряжения ВН (более 1 кВ).

### ***Коммутационная аппаратура***

Коммутация – изменение соединений в электрических цепях (включение, отключение и переключение их отдельных частей), выполняемое при помощи специальной аппаратуры.

Коммутационные электрические аппараты получили широкое распространение в различных отраслях промышленности. Трудно себе представить, как бы выполнялись различные задачи по эксплуатации и выполнению операций, связанных с электрическим оборудованием, без этого функционального устройства.

Коммутационный электрический аппарат служит для разъединения и замыкания электрической цепи при помощи контактной группы.

Проще говоря, такое устройство можно назвать выключателем.

К основным видам представленного устройства относятся: рубильники, выключатели, контакторы, реле.

Несмотря на то, что в этих приборах заложен практически один и тот же принцип работы, все они имеют ряд отличий друг от друга.

Рубильник относится к наиболее простому коммутационному аппарату. Аппарат приводится в действие вручную с помощью рукоятки. Такой вид устройств рассчитан на большие значения силы тока.

Выключатели имеют разные модификации.

**Бытовой** - двухпозиционный коммутационный аппарат с нормально-разомкнутыми контактами, предназначенный для работы в сетях с напряжением до

1000 вольт, не предназначенный для отключения токов короткого замыкания, без специальных устройств дугогашения, местного управления, с ручным приводом.

**Высоковольтными выключателями** – называют коммутационные аппараты, производящие оперативное включение или отключение отдельных линий и электрического оборудования при нормальном или аварийном режиме, управляемых вручную, дистанционно или автоматически.

В промышленном применении, к наиболее распространенным видам таких устройств относятся масляные выключатели. Такие выключатели рассчитаны на напряжение до 220кВ.

Масло, в данном случае, служит для подавления/гашения, проходящей через него дуги электрического тока. Особого внимания заслуживают воздушные и электрогазовые выключатели.

Гашение дуги, то есть прекращение подачи электрического тока, происходит за счет подачи струи сжатого воздуха или электроотрицательного газа.

Кардинально новый способ размыкания токопроводящей линии воплощен в электромагнитных выключателях.

Принцип действия такого устройства заключается в следующем: электрическая дуга горит в нормальных условиях при атмосферном давлении – цепь включена.

Как только потребуются разомкнуть цепь, по направлению к дуге подается сильное магнитное поле. За счет воздействия магнитного поля, дуга начинает растягиваться и, в конечном итоге, расщепляется, размыкая тем самым токопроводящую линию.

Реле предназначено для размыкания и замыкания электрической цепи. Основным характерным свойством данного коммутационного аппарата является принципиально новый способ работы контактной пары.

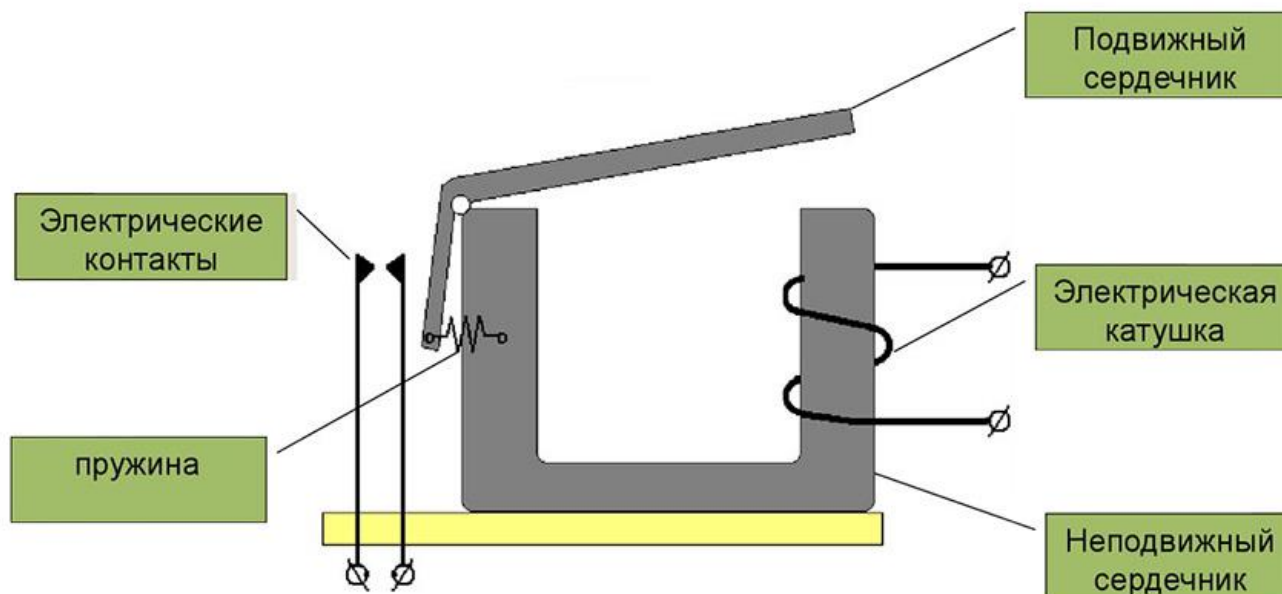
Электромагнитное реле, как и в контакторе, под воздействием электрического тока, приводит в движение сердечник электромагнита с установленными на нем контактами, что приводит к замыканию цепи. Способ воздействия на контактную пару реле может быть не только электрическим, но также тепловым или акустическим.

Контакторы представляют собой разновидность электромагнитного реле. Основное назначение – включение и выключение токопроводящей линии силовых электрических цепей.

Контакторы могут применяться как в цепи переменного, так и постоянного электрического тока. Принцип работы контактора основан на электромагнитном эффекте.

Сердечник электромагнита контактора под действием электрического тока увлекает за собой подвижный контакт, который, вследствие такого перемещения, прижимается к неподвижному контакту и цепь замыкается.

Как только подача тока прекращается, сердечник возвращается в свое первоначальное положение и контакты размыкаются.



Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам, весьма разнообразны и зависят от назначения, условий эксплуатации, необходимой надежности и т.д.

### **Требования безопасности к конструкции коммутационных низковольтных аппаратов на судах**

Требования устанавливает

ГОСТ Р 54585-2011

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВОЕ

#### **Требования безопасности, методы контроля и испытаний.**

1. Электрически не соединенные с токоведущими частями металлические основания выдвижных коммутационных аппаратов, встраиваемые в какое-либо устройство, должны иметь электрическое соединение основания с заземляющей частью устройства, в которое аппарат встраивается.

В выдвинутом положении аппарата, когда все его токоведущие части отсоединены от источника питания, электрическое соединение основания с заземляемой частью устройства может отсутствовать.

При выдвигании аппарата сначала должны размыкаться токоведущие цепи, а затем цепи заземления.

Конструкция выдвижных аппаратов должна обеспечивать фиксацию аппаратов в рабочем положении и иметь блокировку, не позволяющую вдвигать или выдвигать аппарат во включенном состоянии.

2. Расстояния утечек и электрические зазоры аппаратов, встраиваемых в оболочки изделий, выбирают с учетом защитных свойств оболочек, обеспечивая безопасность работы обслуживающего персонала.

3. Выключатели с ручным приводом должны иметь защитное устройство, исключающее возможность травмирования рук оператора при электродинамическом отбросе рукоятки привода.

4. Сопротивление изоляции коммутационных аппаратов, не бывших в эксплуатации, должно быть не менее 10 МОм.

Сопротивление изоляции на конкретные виды или серии и типы аппаратов должно быть указано в нормативной документации, а при необходимости должно быть указано сопротивление изоляции аппаратов, прошедших испытание на коммутационную износостойкость.

5. Опасную зону выхлопа коммутационных аппаратов следует устанавливать в нормативной документации на отдельные виды, серии или типы аппаратов, а также указывать в инструкции по монтажу и эксплуатации.

6. Изоляция цепей коммутационных аппаратов, не бывших в эксплуатации, в холодном состоянии при нормальных климатических условиях по ГОСТ 20.57.406 должна в течение 1 мин выдержать испытательное переменное напряжение частотой 50 Гц, превышающее номинальное в 3-10 раз (зависит от номинального напряжения).

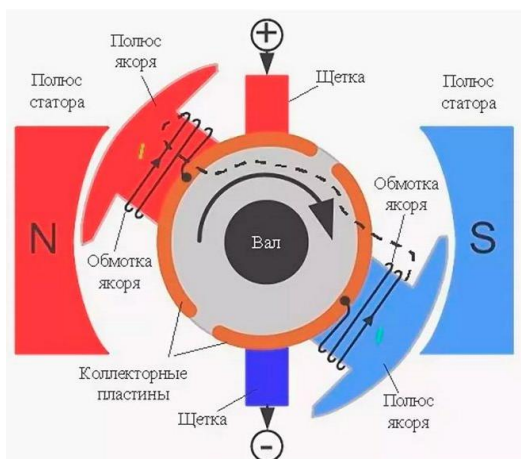
## Лекция 3 Электрические машины постоянного тока

Современные суда характеризуются высокой степенью электрификации, а самыми многочисленными элементами судового электрооборудования являются судовые электрические машины (СЭМ). Они являются и источниками электроэнергии на судне, и основными ее потребителями, приводящими в движение большое количество различных судовых механизмов, к которым относятся насосы, вентиляторы, грузоподъемные и якорно - швартовные устройства, средства активного управления движением судна и т.д.

**Электрическими машинами** называются устройства, предназначенные для преобразования механической энергии вращения в электрическую (генератор) и наоборот, электрической энергии в механическую (двигатель), или для преобразования эл. энергии одного вида в другой (преобразователь).

**Принцип обратимости электрических машин.** Двигатели постоянного тока по конструкции не отличаются от генераторов и электрические машины постоянного тока могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя, т.е. являются обратимыми.

### Принцип действия машин постоянного тока



Работа электрической машины основана на единстве законов электромагнитной индукции и электромагнитных сил.

При подаче напряжения ток проходит сквозь обмотку возбуждения. У смежных полюсов возникает противоположная полярность, в результате образуется магнитное поле.

На якорь двигателя через коллектор подаётся постоянный ток, на который со стороны магнитного поля статора действует электромагнитная индукция.

В результате создаётся вращающий момент, поворачивающий ротор на 90 электрических градусов. После этого щёточно-коллекторный узел коммутрует обмотки ротора, чтобы вращение продолжалось.

### Устройство машины постоянного тока

Электротехническая промышленность в настоящее время выпускает электрические машины постоянного тока для работы в различных условиях. Судовые машины имеют особенности конструкции отдельных узлов, но общая конструктивная схема этих машин одинакова:

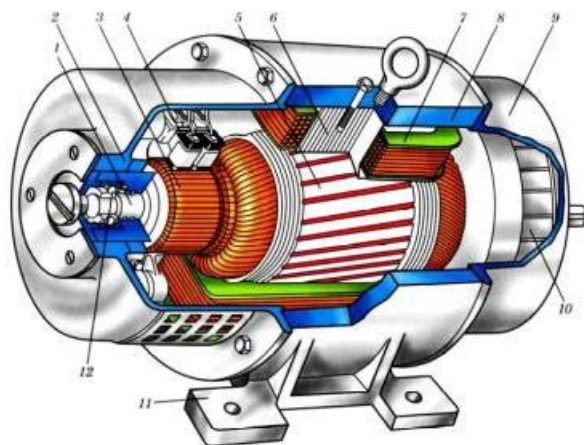
Она состоит из 2-х основных частей: неподвижной – статора и вращающейся – якоря. Между ними всегда имеется воздушный зазор.

Статор, являющийся индуктором, т.е. такой частью машины, в котором создается магнитное поле, состоит из станины 8, главных 6 и добавочных полюсов с обмоткой возбуждения 7. На статоре крепятся щеточный аппарат 4 и коробка выводов. К статору относятся также подшипниковые щиты 2 и 9, с подшипниками 12 и лапы 11.

Станина служит в качестве магнитопровода и одновременно является конструктивной основой, к которой крепятся главные и добавочные полюсы и подшипниковые щиты. Она представляет собой полый цилиндр, отлитый или сваренный из чугуна или стали.

У крупных машин станина делается разъемной. На судах для удобства обслуживания и ремонта применяются также машины с поворотной станиной.

Якорь состоит из сердечника якоря 5 и коллектора 3, насаженных на вал 1. В машинах с самовентиляцией на валу крепится вентилятор 10.



- 1 – вал;
- 2 – передний подшипниковый щит;
- 3 – коллектор;
- 4 – щеткодержатели со щетками;
- 5 – якорь;
- 6 – главный полюс;
- 7 – обмотка возбуждения
- 8 – станина
- 9 – задний подшипниковый щит;
- 10 – вентилятор;
- 11 – лапы;
- 12 – подшипник

Судовые электрические машины в зависимости от условий работы предусматривают разное конструктивное исполнение: брызгозащищенные (для подпалубных помещений), водозащищенные (механизмы на палубе - шпиль, брашпиль, лебёдки, краны), герметически закрытые (для работы под водой) и взрывозащищенные (на танкерах).

Все судовые машины имеют повышенную влаго- и маслостойкую изоляцию и более прочную стальную конструкцию.

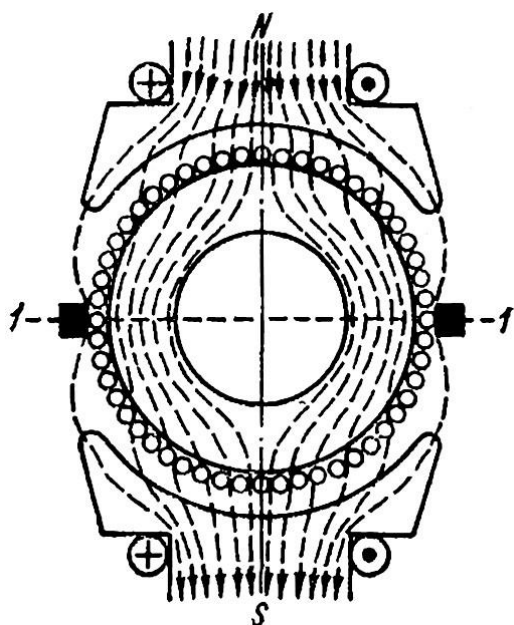
### Магнитное поле машины постоянного тока

Магнитное поле в машине постоянного тока, которое создается вокруг проводников с током, выходит в воздушный зазор и начинает влиять на основное магнитное поле.

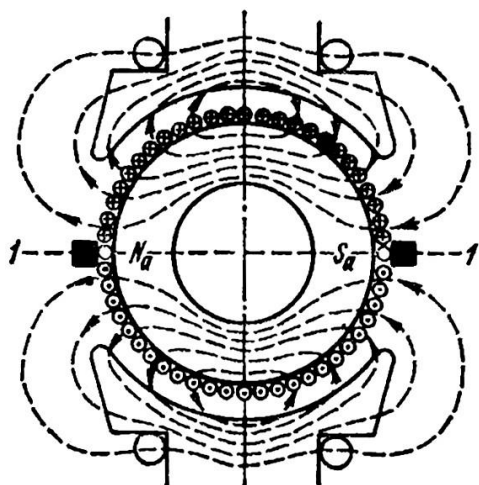
В воздушном зазоре машины складываются два поля: **основное магнитное поле и поле нагрузки.**

Влияние поля нагрузки на основное магнитное поле называется **реакцией якоря**. Чтобы определить, как влияет поле нагрузки на основное магнитное поле машины, используют метод наложения.

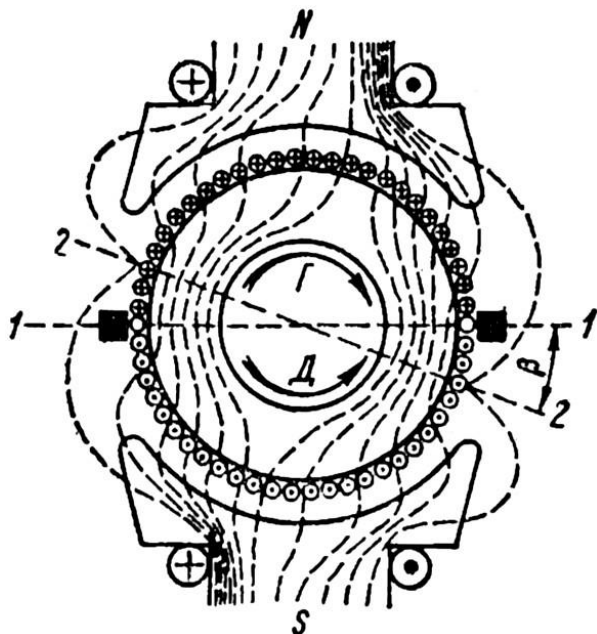
1. Основное магнитное поле машины постоянного тока при холостом ходе, создаваемое обмоткой возбуждения.



2. Магнитное поле якоря машины постоянного тока под нагрузкой.



3. Магнитное поле машины постоянного тока, работающей под нагрузкой.



Если при расчете магнитной цепи не имело значения местоположение щеток, то для поля нагрузки положение щеток является определяющим. У большинства машин постоянного тока щетки располагаются на геометрической нейтрали.

Геометрическая нейтраль — это плоскость, проходящая через центр машины перпендикулярно средней линии полюсов.

Пара щеток по конструкции машины жестко соединяется между собой, и это соединение называется осью щеток.

Магнитное поле, создаваемое током нагрузки, всегда располагается вдоль оси щеток и вращается вместе с осью щеток.

Задавшись направлением вращения и током якоря используя правило правой руки определяют направление действия поля нагрузки.

Чтобы уменьшить влияние реакции якоря на основное магнитное поле машины, между главными полюсами устанавливаются добавочные полюса.

Обмотки добавочных полюсов включаются последовательно с обмоткой якоря, а их магнитный поток выбирается таким, чтобы компенсировал реакцию якоря.

Магнитный поток добавочных полюсов изменяется с изменением тока нагрузки, в результате чего достигается компенсация поля нагрузки. Для того чтобы добавочные полюса полностью компенсировали поле нагрузки в двигателе за главным полюсом должен следовать дополнительный полюс той же полярности.

В генераторе по направлению вращения якоря за главным полюсом должен следовать добавочный полюс противоположной полярности.

### **Коммутация в машинах постоянного тока**

*Коммутацией* называют процесс изменения тока в секциях обмотки якоря при переходе их из одной параллельной ветви в другую.

В более широком смысле слова под коммутацией понимают все явления и процессы, возникающие под щетками при работе коллекторных электрических машин.

Если щетки искрят, то говорят, что машина имеет плохую коммутацию; если искрение отсутствует, то коммутацию называют хорошей. Качество коммутации



(интенсивность искрения) в значительной степени определяет работоспособность машины и ее надежность в эксплуатации.

**Круговой огонь в машинах постоянного тока** возникает при пиковых нагрузках или при коротком замыкании. Это тяжелый и не приятный случай коммутации, приводящий к порче **машины**, т.е. коллекторные пластины перекрываются **огнем** по всему коллектору и они плавятся, т.е. **машина** выходит из строя.

**Причины искрения** могут быть различными.

1. Механические, приводят к искрению из-за нарушения или ухудшения скользящего контакта. Они связаны с неисправностью коллектора и щеточного аппарата. К ним относятся: неровность поверхности коллектора, его эксцентricность, выступание изоляции между пластинами, плохая балансировка, плохое крепление траверзы или щеткодержателей, неправильный выбор марки щеток, слабое нажатие щеток, плохая притирка щеток к коллектору и пр.

2. Потенциальные, вызываемые неравномерным распределением напряжения на коллекторе. Если напряжение между соседними коллекторными пластинами превысит определенное значение, то может возникнуть искрение из-за электрического пробоя изоляционных промежутков между пластинами. Дело в том, что при нагрузке машины из-за поперечной реакции якоря распределение магнитной индукции, а следовательно, и распределение напряжения между коллекторными пластинами приобретает резко неравномерный характер, напряжение между соседними пластинами может достигнуть больших значений, что может привести к проскакиванию искр между соседними пластинами и даже к перекрытию их дугой. Максимально допустимое напряжение между соседними коллекторными пластинами в зависимости от мощности машины составляет 25 ... 60 В.

3. Коммутационные, определяются соотношением ЭДС в коммутирующей секции. При значительном преобладании реактивной ЭДС коммутирующая секция имеет значительный запас электромагнитной энергии  $L_k \frac{i_k^2}{2}$ . В момент сбегания щетки с коллекторной пластины происходит разрыв коммутирующей цепи - разряд электромагнитной энергии секции и является причиной искрения. Искрению способствует также нагрев краев щетки в результате неравномерного распределения плотности тока под щеткой.

При выявлении причин искрения полезным может оказаться наблюдение за цветом искр и характером их образования:

**Электромагнитного характера:**

- Цвет искр бело-голубой или желтоватый.
- Искры располагаются под сбегающим краем щетки.
- Интенсивность искрообразования зависит от нагрузки и возрастает ее увеличением.
- Искрообразование возрастает с увеличением нажатия на электрощетку. С увеличением окружной скорости якоря искрообразование изменяется незначительно.

- Нагар (почернение) на коллекторе по всей его поверхности, подгорают отдельные пластины, причем в расположении подгоревших пластин наблюдается определенная закономерность.
- Интенсивность искрообразования зависит от температуры; с повышением температуры оно возрастает

### **Механического характера**

- Цвет искр зеленоватый.
- Искры располагаются под контактной поверхностью щетки.
- Интенсивность искрообразования не зависит от нагрузки.
- Искрообразование ослабевает с увеличением нажатия на электрощетку.
- С увеличением окружной скорости якоря искрообразование резко возрастает.
- Нагар (почернение) происходит на отдельных участках поверхности коллектора; в расположении подгоревших пластин закономерности не наблюдается.
- Интенсивность искрообразования от температуры не зависит.

Необходимо иметь в виду, что стоимость ремонта и эксплуатации коллекторных машин (замена щеток, проточка коллекторов, устранение последствий кругового огня и т.д.) очень велика и в некоторых машинах (например, в тяговых электродвигателях) составляет за один год около 1/3 стоимости самой машины. Поэтому мероприятия, проводимые по уменьшению интенсивности искрения щеток, могут дать существенный технико-экономический эффект.

Современные средства улучшения коммутации сводятся, главным образом, к устранению коммутационных и потенциальных причин искрения.

#### **1. Применение добавочных полюсов.**

В малых машинах без добавочных полюсов требуемая компенсация может быть достигнута путем некоторого сдвига щеток, а следовательно и коммутационной зоны с геометрической нейтральной: у генераторов – в сторону вращения якоря, у двигателей – против его вращения.

#### **2. Применение компенсационной обмотки.**

Для эффективной компенсации МДС поперечной реакции якоря и улучшения коммутации в полюсных наконечниках главных полюсов предусматривают устройство пазов, в которые укладывают компенсационную обмотку. Эта обмотка включается последовательно в цепь якоря с целью автоматической компенсации  $F_q$  при всех нагрузках. Закон распределения МДС компенсационной обмотки в воздушном зазоре имеет вид почти зеркального отображения МДС реакции якоря  $F_q$ .

#### **3. Применение твердых сортов щеток.**

Некоторое уменьшение тока можно достигнуть увеличением сопротивления контакта щеток  $R_{щ}$ , что осуществляется применением более твердых сортов. В машинах постоянного тока применяют угольно-графитные (УГ), графитные (Г),

электрографитированные (ЭГ), медно–графитные (МГ) и бронзо–графитные (БГ) щетки. С целью улучшения коммутации целесообразно применять твердые щетки (УГ, Г, ЭГ), так как они обладают наибольшей величиной переходного сопротивления. Однако допускаемая плотность тока твердых щеток невелика, поэтому их применение ведет к необходимости увеличения площади щеточного контакта, что требует увеличения габаритов коллектора.

**На судах обычно используются графитные и электрографитированные щетки.**

Для этих же целей в крупных машинах применяют разрезные щетки, которые обеспечивают, кроме того, и лучший контакт щетки с коллектором.

#### 4. Нормальные условия охлаждения.

Чрезмерный нагрев щеток и коллектора может явиться дополнительной причиной искрения. Кроме того, опыт эксплуатации машин постоянного тока показывает, что безыскровая и длительная работа коллектора наблюдается при образовании на поверхности коллектора устойчивой оксидной пленки, которая образуется только при определенной влажности, температуре и чистоте охлаждающей среды.

### **Потери и коэффициент полезного действия машин постоянного тока**

При работе электрических машин часть энергии в отдельных ее узлах теряется, превращаясь в тепло. Потери энергии в машинах постоянного тока можно разделить на следующие группы.

1. Механические потери  $\Delta P_{\text{мех}}$ : трение в подшипниках, трение щеток о коллектор, трение якоря о воздух, вентиляционные. Обычно эти потери определяются по эмпирическим формулам или экспериментально.

2. Магнитные потери  $\Delta P_{\text{ст}}$ : потери на гистерезис, обусловленные перемагничиванием сердечника якоря и зубцов при вращении, и потери на вихревые токи, обусловленные пересечением магнитным потоком отдельных точек тела якоря. Вихревые токи замыкаются в плоскостях продольного разреза якоря. С целью уменьшения потерь на вихревые токи сердечник якоря собирают из штампованных, изолированных друг от друга, листов электротехнической стали.

3. Электрические потери  $\Delta P_{\text{э}}$  – это потери в обмотке якоря, в обмотках возбуждения, добавочных полюсов и компенсационной, в контактном слое щеток/

Потери на возбуждение относятся к источнику, питающему обмотку возбуждения.

4. Добавочные потери  $\Delta P_{\text{д}}$ : механические потери, обусловленные вибрацией вала, щеток, потери в стали, обусловленные неравномерностью распределения индукции в зубцах, потери в полюсных наконечниках, обусловленные пульсацией основного потока вследствие зубчатости якоря и другие.

Добавочные потери трудно поддаются учету, поэтому для нормальных машин ГОСТ предусматривает  $\Delta P_{\text{д}}=0,01 P_{\text{н}}$ .

Полные потери в машине постоянного тока находятся по формуле

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{д}} + \Delta P_{\text{э}} \quad (1.32)$$

Механические и магнитные потери практически не зависят от нагрузки машины.

Отношение полезной мощности  $P_2$  к подводимой мощности  $P_1$  называется коэффициентом полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1}.$$

КПД машин постоянного тока величина непостоянная, он изменяется при изменении нагрузки, достигая максимума при нагрузках от 75% до 100% номинальной. В зависимости от мощности машин КПД в номинальном режиме для малых машин достигает 83...87% и для машин большой мощности 92...97%.

### Генераторы постоянного тока

На современных судах с электроэнергетической системой постоянного тока в качестве источников электрической энергии используются генераторы постоянного тока. Это такие электромеханические устройства, которые преобразуют механическую энергию первичного двигателя (паровой или газовой турбины, дизеля) в электрическую.

В зависимости от типа первичного двигателя генераторы делятся на турбогенераторы, газогенераторы, дизель-генераторы. В электроэнергетических системах на переменном токе для питания потребителей постоянного тока используют электромашинные преобразователи, которые представляют собой агрегат, состоящий из приводного двигателя переменного тока и генератора постоянного тока.

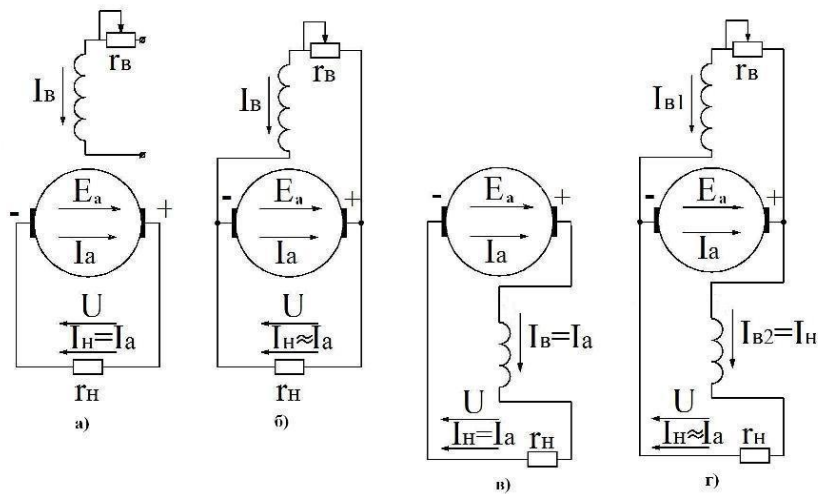
По способу возбуждения генераторы постоянного тока делятся на две группы - генераторы независимого возбуждения и генераторы с самовозбуждением.

Генераторы с независимым возбуждением разделяются на магнитоэлектрические генераторы и генераторы с электромагнитным возбуждением.

У магнитоэлектрических генераторов основной магнитный поток создается постоянными магнитами. В генераторах с электромагнитным возбуждением магнитный поток создается одной или несколькими обмотками возбуждения, расположенными на главных полюсах машины. Обмотка возбуждения генератора независимого возбуждения получает питание от постороннего источника электрической энергии постоянного тока (рисунок 2.1, а).

В генераторах с самовозбуждением обмотки возбуждения получают питание от самого генератора. На возбуждение в зависимости от мощности генератора расходуется (0,3..5)% номинальной мощности.

Генераторы с самовозбуждением в зависимости от способа включения обмоток возбуждения в электрическую цепь машины подразделяются на генераторы **параллельного возбуждения** (шунтовые) (рисунок 2.1, б), генераторы **последовательного возбуждения** (серисные) (рисунок 2.1, в) и генераторы **смешанного возбуждения** (компаундные) (рисунок 2.1, г).



В генераторах параллельного возбуждения обмотка возбуждения включается параллельно обмотке якоря. Обычно эти обмотки выполняются с большим числом витков из проводников небольшого сечения. По ним проходит ток возбуждения, который составляет (1..5)% номинального тока. В этих машинах ток якоря  $I_a$  равен сумме токов нагрузки  $I_H$  и возбуждения  $I_B$ .

Генераторы последовательного возбуждения имеют обмотку возбуждения, включенную последовательно с обмоткой якоря. При этом ток нагрузки  $I_H$ , ток якоря  $I_a$  и ток возбуждения  $I_B$  являются одним и тем же током. Последовательная обмотка рассчитывается на номинальный ток машины и выполняется из проводников большого сечения с небольшим числом витков.

Генераторы смешанного возбуждения имеют две обмотки возбуждения, параллельную, включенную параллельно обмотке якоря и последовательную, включенную последовательно с обмоткой якоря. Если эти обмотки включены так, что создаваемые ими МДС совпадают по направлению, т.е. складываются, то такое включение называется согласным. Если МДС не совпадают по направлению, т.е. вычитаются, то включение называется встречным. Обычно применяют согласное включение обмоток. У генераторов смешанного возбуждения основная МДС создается параллельной обмоткой.

В цепях обмоток параллельного и независимого возбуждения для регулирования тока возбуждения включают регулировочные реостаты. В судовых электроэнергетических системах применяют генераторы независимого, параллельного и смешанного возбуждения.

В судовых установках генераторы постоянного тока применяются для питания силовых и осветительных сетей, а также для зарядки аккумуляторных батарей. Генераторы выполняются на напряжения 115 и 230 В, а также на пониженные напряжения 26, 28, 36, 46 В. Они выпускаются как с независимым возбуждением так и с самовозбуждением. Генераторы с самовозбуждением в зависимости от схемы возбуждения подразделяются на генераторы с параллельным возбуждением (шунтовые) и генераторы со смешанным возбуждением (компаундные).

Генераторы выполняются с самовентиляцией или принудительной вентиляцией. По исполнению корпус генератора может быть в брызгозащищённом и водозащищённом исполнении. Режим работы генераторов длительный.

Генераторы допускают параллельную работу при идентичных внешних характеристиках при условии совпадения скоростных характеристик приводных двигателей.

### **Специальные типы машин постоянного тока.**

К машинам постоянного тока специального назначения относят электромашинные усилители (ЭМУ), тахогенераторы, бесконтактные двигатели постоянного тока и исполнительные двигатели постоянного тока.

1) ЭМУ – это машины, работающие в генераторном режиме и усиливающие электрические сигналы. Простейшие ЭМУ – это генераторы постоянного тока независимого возбуждения, но они не нашли широкого распространения из-за небольшого коэффициента усиления (не более 100). Наибольшее распространение получили ЭМУ поперечного поля, у которых основным магнитным потоком является поток, создаваемый током обмотки якоря. На его коллекторе установлено два комплекта щёток: один – на поперечной оси главных полюсов (на геометрической нейтрали), а другой – по продольной оси главных полюсов. Первые щётки замкнуты накоротко, а ко вторым подключена нагрузка. Помимо обмотки якоря ЭМУ имеет одну или несколько обмоток управления, компенсационную обмотку (ОК), поперечную подмагничивающую обмотку (ОП) и обмотку добавочных полюсов (ОД). Якорь ЭМУ вращается электродвигателем. Коэффициент усиления может достигать 2000-20 000.

2) Тахогенераторы постоянного тока служат для измерения частоты вращения по значению выходного напряжения. Они представляют собой генераторы малой мощности с возбуждением от постоянного магнита или с электромагнитным независимым возбуждением. На выходе включен электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы, шкала которого проградуирована в единицах измерения частоты вращения.

3) Бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) отличаются от коллекторных двигателей традиционной конструкции тем, что в них щёточно-коллекторный узел заменён полупроводниковым коммутатором (инвертором), управляемым сигналами, поступающими с бесконтактного датчика положения ротора (ДПР). ДПР расположен на валу двигателя. Рабочая обмотка двигателя – обмотка якоря – расположена на сердечнике статора, а постоянный магнит на роторе. В качестве чувствительного элемента ДПР чаще всего применяют датчики ЭДС Холла. Назначение ДПР – выдавать в блок коммутатора управляющий сигнал в соответствии с положением полюсов постоянного магнита относительно секций якоря. Блок коммутатора меняет соответственно направление магнитного потока в обмотках, что приводит к вращению двигателя. КПД БДПТ по сравнению с коллекторными выше, они более надёжны и долговечны, но имеют повышенную стоимость за счёт полупроводникового коммутатора, датчиков Холла и постоянного магнита. Мощность БДПТ обычно до 120 Вт.

4) Исполнительные двигатели постоянного тока применяют в системах автоматики для преобразования электрического сигнала в механическое перемещение. В качестве исполнительных двигателей в настоящее время применяют чаще всего

двигатели с независимым возбуждением, реже – с возбуждением от постоянных магнитов.

### **ТРЕБОВАНИЯ К МПТ на судах**

Электрические машины на судне работают в значительно более тяжелых условиях, чем в береговых промышленных установках.

Объясняется это тем, что судно является мореходным сооружением и электрические машины подвержены воздействию повышенной вибрации и сотрясениям, периодическим наклонам при кренах и дифферентах, вызываемых качкой судна.

Кроме того, электрические машины на судне работают в условиях высокой влажности воздуха, наличия паров нефтепродуктов и масел, высокой окружающей температуры и ее резкими перепадами.

Характерным для судов является также возможность попадания брызг и заливания морской водой электрических машин.

*По указанным причинам СЭМ должны обладать повышенной ударостойкостью, высокой эксплуатационной надежностью, быть малошумными, иметь малые габариты и массу, а их изоляция должна обладать повышенной влаго-, водо- и маслостойкостью.*

Серийные машины общепромышленного назначения обычно не удовлетворяют этим требованиям, поэтому **электромашиностроительные заводы разрабатывают и изготавливают специальные серии судовых электрических машин.**

С целью защиты обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри корпуса машины, а также защиты от попадания внутрь посторонних твердых тел и воды корпуса СЭМ в зависимости от условий имеют различные степени защиты.

По способам охлаждения СЭМ различают: с естественным охлаждением (без вентиляции), с самовентиляцией и с независимым охлаждением.

На судах электрические машины с естественным охлаждением применяются редко. Наибольшее распространение получили СЭМ с самовентиляцией внутреннего пространства вентилятором на валу и с самовентиляцией наружной поверхности вентилятором на валу (обдуваемые).

Под конструктивным исполнением машины по способу монтажа понимают исполнение составных частей машины относительно элементов крепления (подшипников и концов вала). Способ монтажа определяет, как

располагается машина в пространстве на месте установки, способ крепления и сочленение с механизмом.