

# **Машины ПОСТОЯННОГО ТОКА**



**Двигатели** - металлургическая промышленность, электрический транспорт

**Генераторы** - питание электролитических ванн; зарядка аккумуляторов; высококачественная сварка

# Преимущества МПТ

## ГПТ

- жесткая внешняя характеристика,
- хорошие регулировочные свойства,

## ДПТ

- лучшие механические характеристики,
- лучшие регулировочные свойства,
- высокая перегрузочная способность

**Диапазон мощностей:** от единиц ватт  
(микромашинны) до десятков тысяч  
киловатт (двигатели для прокатных станков;  
гребных винтов кораблей)

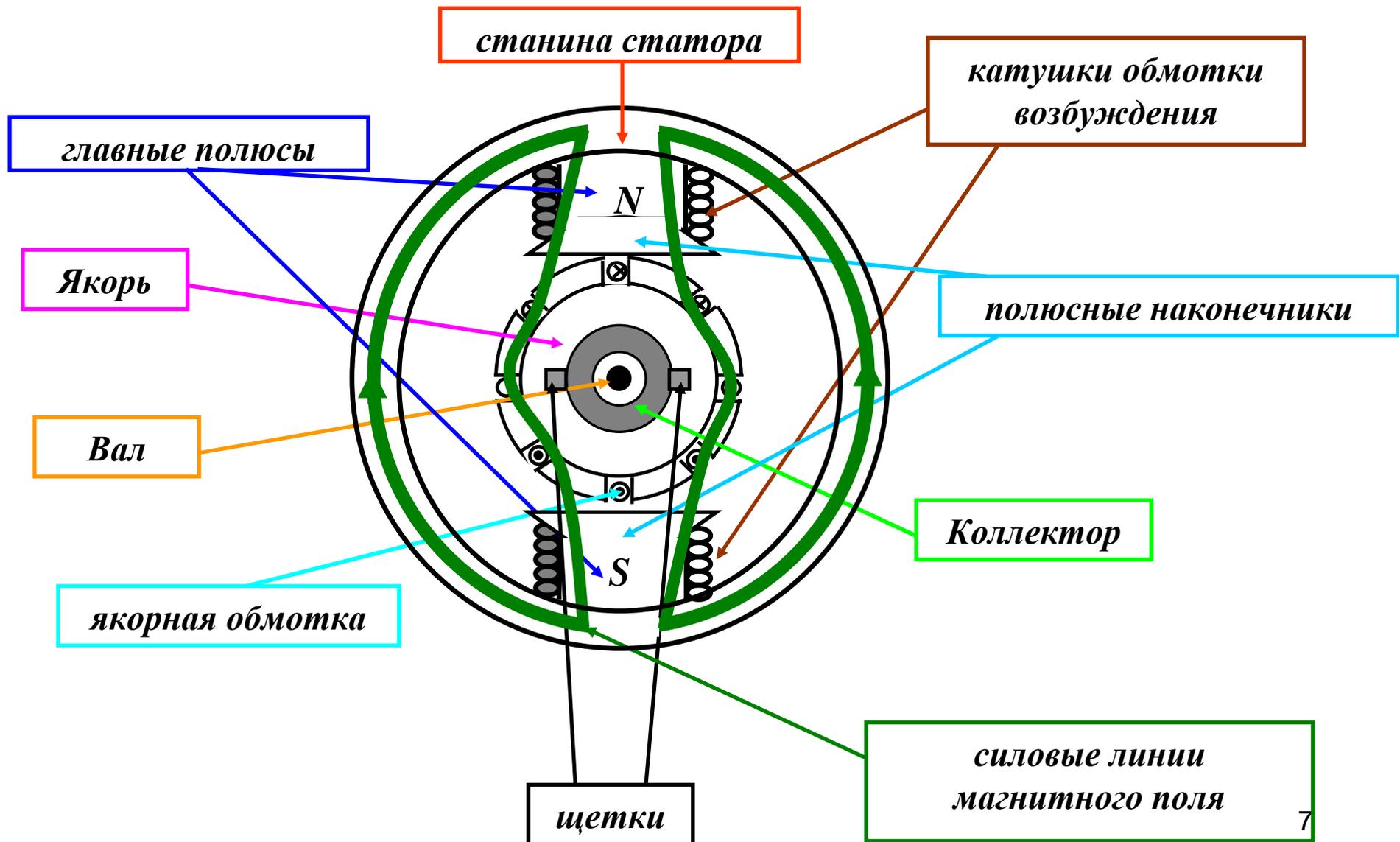
**Наиболее распространенные серии: 2П (0,37-  
200 кВт) – включает и двигатели и  
генераторы; новая серия 4П (0,126-800 кВт) –  
двигатели с расширенным диапазоном  
регулирования частоты вращения**

# Общие недостатки МПТ

- сложность конструкции,
- невозможность работы в агрессивных средах,
- необходимость частых ревизий,
- меньший срок службы,
- наличие радиопомех.

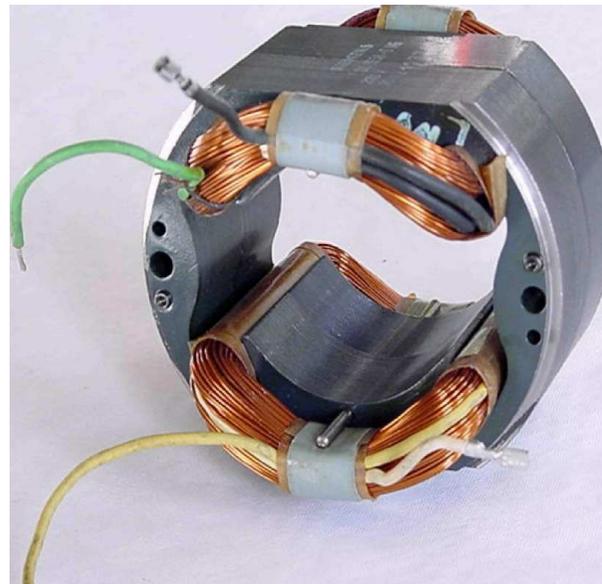
**Устройство  
машины  
постоянного тока**

# Устройство МПТ



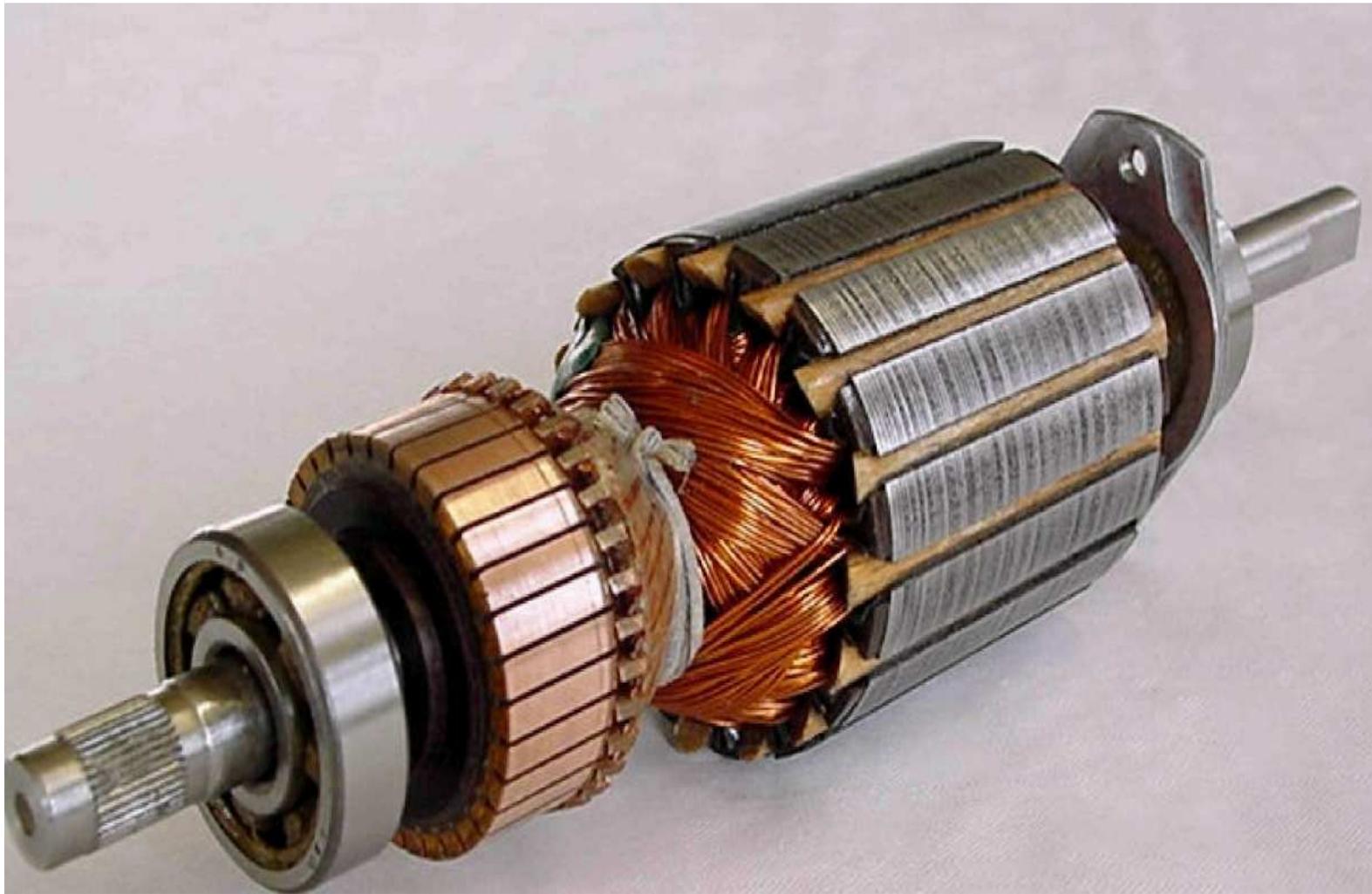
**Состоит из неподвижной части – **статора**, который служит для возбуждения главного магнитного поля машины, и вращающейся части – **якоря** (ротор).**

**Статор состоит из станины (литая сталь), на которой крепятся главные полюсы (для возбуждения основного магнитного потока) и дополнительные полюсы (для хорошей коммутации)**

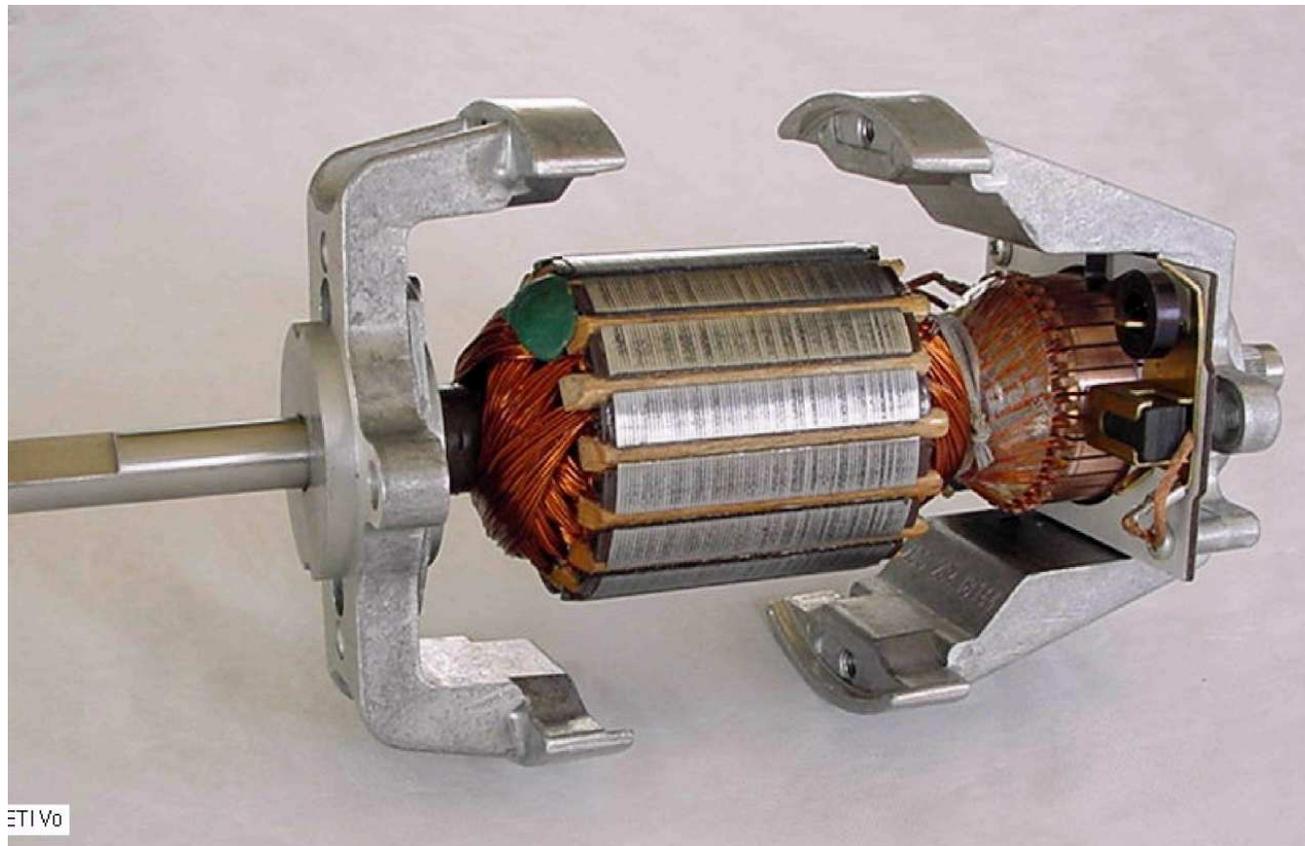


**Главный полюс** состоит из **сердечника**, (шихтованный, укреплен болтами на станине) и **обмотки возбуждения**. Сердечник снабжается **полюсным наконечником** (для создания требуемого распределения магнитного потока). ОВ питается либо от источника постоянного тока, либо от зажимов якорной обмотки.

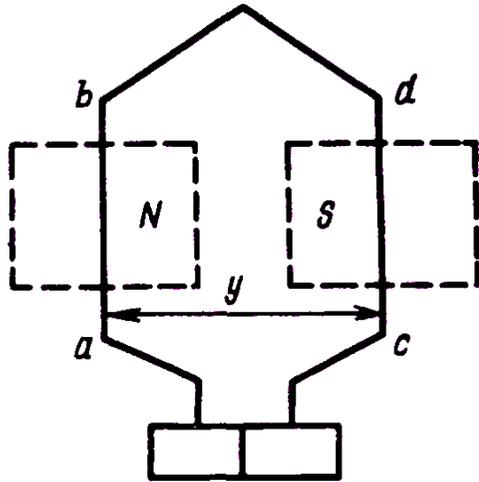
**Якорь** состоит из **зубчатого сердечника**, набранного из листовой стали, в пазы которого уложена **обмотка якоря и коллектора**, насаженного на вал якоря. **Коллектор** – полый цилиндр, собранный из изолированных друг от друга клинообразных **медных пластин**.



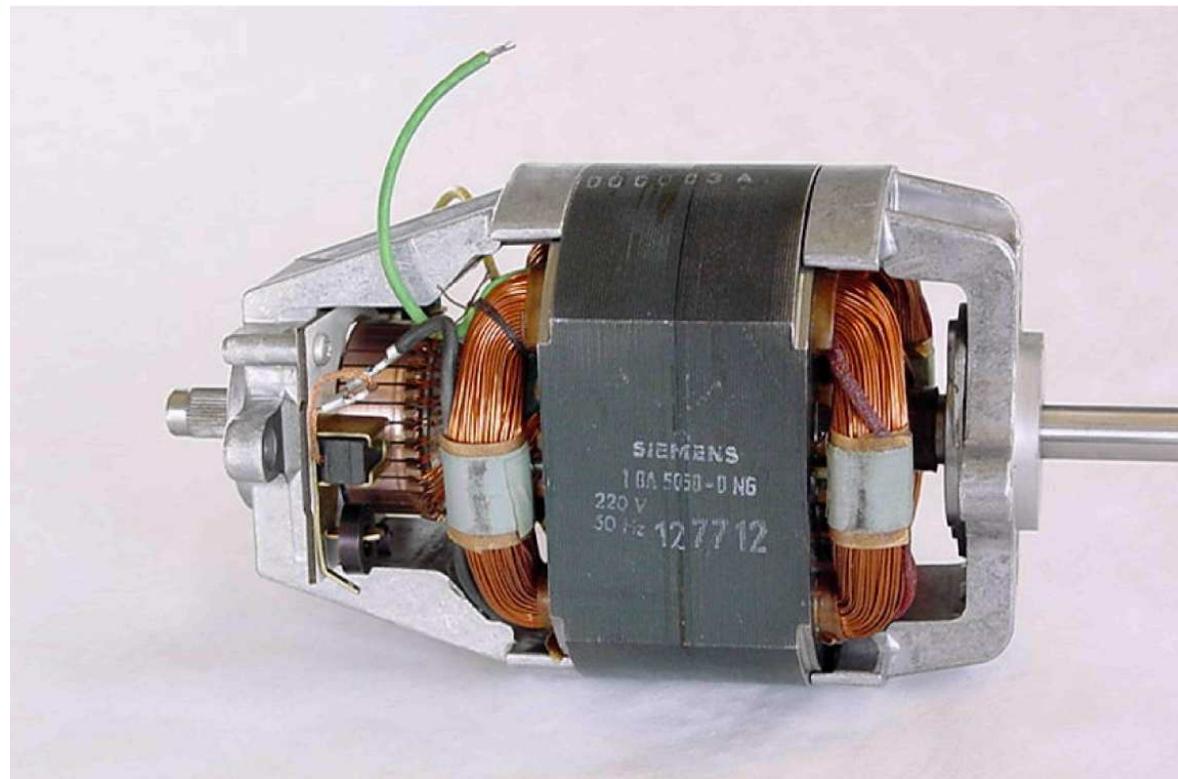
**К каждой пластине коллектора присоединяются два конца секции обмотки якоря. На коллекторе, в щеткодержателях, устанавливаются неподвижные щетки, через которые обмотка якоря соединяется с внешней цепью.**



**Секция – часть обмотки якоря, состоящая из одного или нескольких последовательно соединенных витков, присоединенных своими концами к коллекторным пластинам.**



**Одновитковая секция ОЯ**



**Применение коллектора  
необходимо в генераторах  
постоянного тока для  
выпрямления переменной ЭДС,  
индуцируемой в ОЯ, а в  
двигателях коллектор нужен для  
получения постоянного по  
направлению вращающего  
момента.**

# Режимы работы МПТ

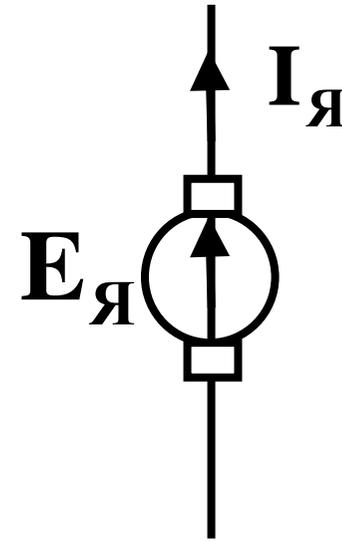
Машина работает в режиме **генератора**, если ее вращает первичный двигатель, главное магнитное поле возбуждено, а цепь якоря замкнута через щетки с приемником. При таких условиях под действием ЭДС, индуктируемой в ОЯ, в замкнутой цепи якорь-приемник возникает ток, совпадающий с ЭДС по направлению. Взаимодействие тока якоря с главным магнитным полем создает на валу тормозной момент, который преодолевается первичным двигателем.

## ЭДС якоря

$$E_{\text{я}} = C_E \cdot \Phi \cdot n, \text{ где}$$

$C_E$  — постоянный коэффициент;

$n$  — частота вращения якоря



## Уравнение электрического состояния цепи якоря

$$E_{\text{я}} = U + I_{\text{я}} R_{\text{я}},$$

$R_{\text{я}}$  — сопротивление обмотки якоря

**В двигательном** режиме цепи якоря и возбуждения машины присоединены к источнику электроэнергии. Взаимодействие тока якоря с главным магнитным полем создает вращающий момент

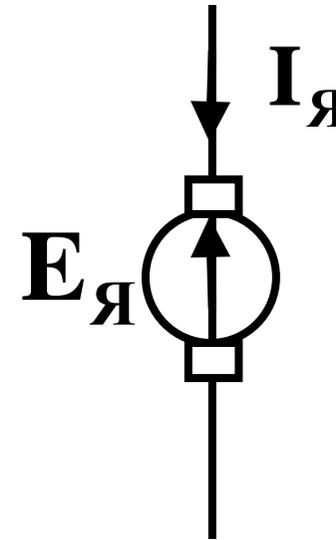
$$M_{\text{вр}} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}, \quad C_M = C_E \cdot \frac{60}{2\pi}$$

Под действием момента якорь вращается, преодолевая момент нагрузки на валу. При этом ЭДС якоря противодействует току якоря и направлена ему навстречу

## Напряжение, приложенное к цепи якоря

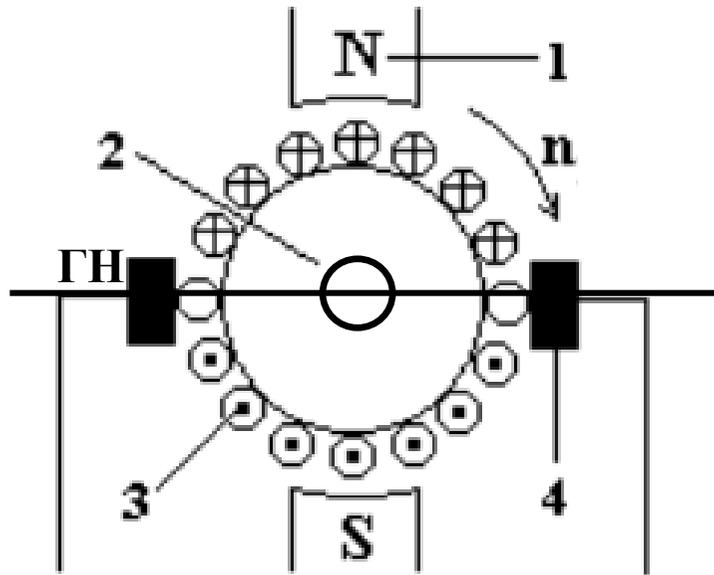
$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$



# Выпрямление переменной ЭДС

## Выпрямление переменной ЭДС



ЭДС проводников, расположенных в зоне одного полюса, различны по величине. Наибольшая ЭДС индуцируется в проводнике, расположенном под серединой полюса, ЭДС, равная нулю, - в проводнике, расположенном на линии ГН.

$$e = B_n l v$$

$B_n$  — нормальная составляющая магнитной индукции в воздушном зазоре;

$l$  — активная длина проводника;

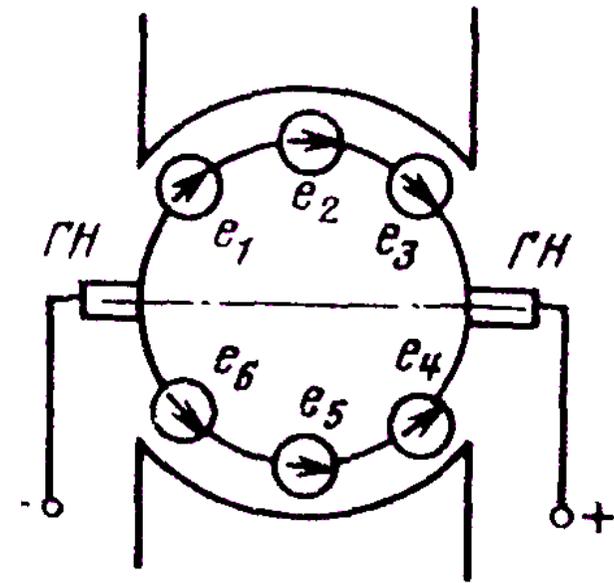
$v = \frac{\pi n D_{\text{я}}}{60}$  — линейная скорость вращения проводника

**Геометрическая нейтраль** – это линия, проходящая через середину межполюсного пространства и середину машины.

**Физическая нейтраль** – это линия, проходящая через точки окружности якоря, где магнитная индукция равна нулю.

Если соединить все проводники обмотки по определенному правилу последовательно, то результирующая ЭДС якорной обмотки равна нулю, ток в обмотке отсутствует.

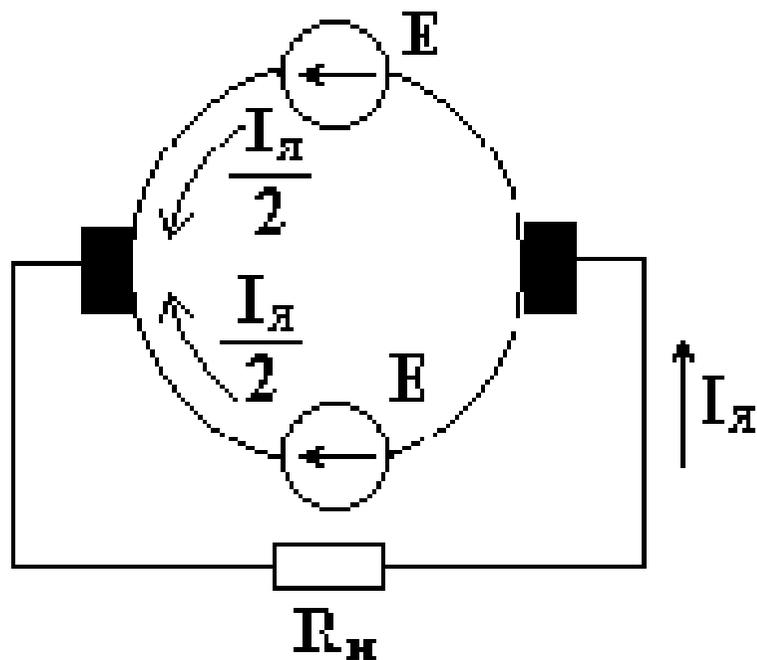
Контактные щетки делят якорную обмотку на две параллельные ветви. В верхней параллельной ветви индуцируется ЭДС одного направления, в нижней - противоположного направления.



**Если установить щетки на ГН, то между ними будут находиться проводники с одинаково направленными ЭДС, сумма которых максимальна и постоянна**

## Схема замещения якорной обмотки

При подключении к ОЯ сопротивления в параллельных ветвях возникают одинаковые токи  $\frac{I_{\text{я}}}{2}$ , через сопротивление протекает ток  $I_{\text{я}}$ .

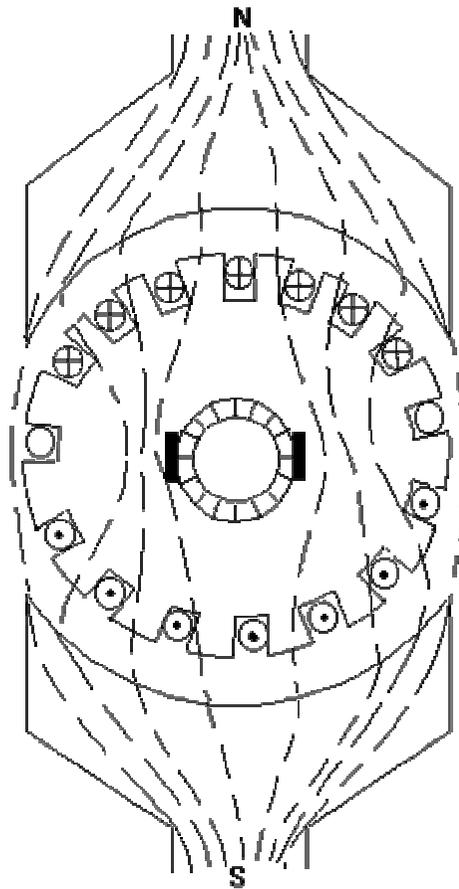


В двигателе щетки и коллектор производят переключение направления тока при переходе проводника из области одного полюса в область другого полюса, обеспечивая неизменное направление вращающего момента.

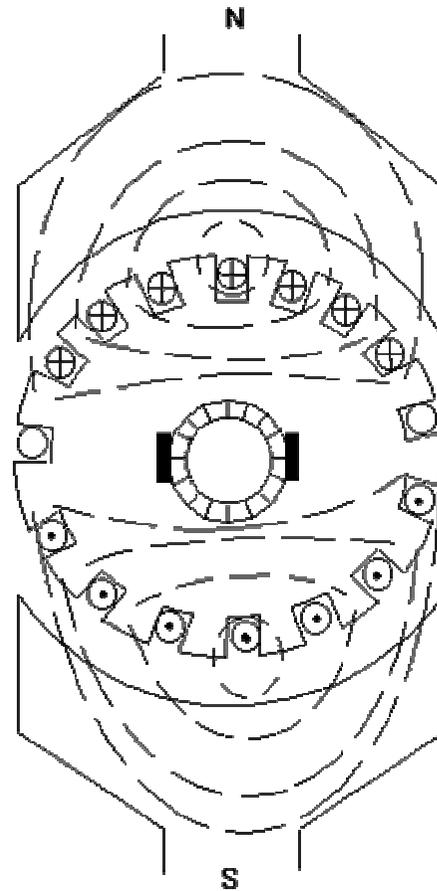
**Реакция якоря** - воздействие магнитного потока обмотки якоря на магнитный поток возбуждения. При нагрузке машины поле якоря накладывается на основное поле и искажает его.

**Последствия:** ФН смещается по отношению к ГН и между щетками оказываются несколько секции, направление в которых будет противоположно направлению ЭДС остальных секций.

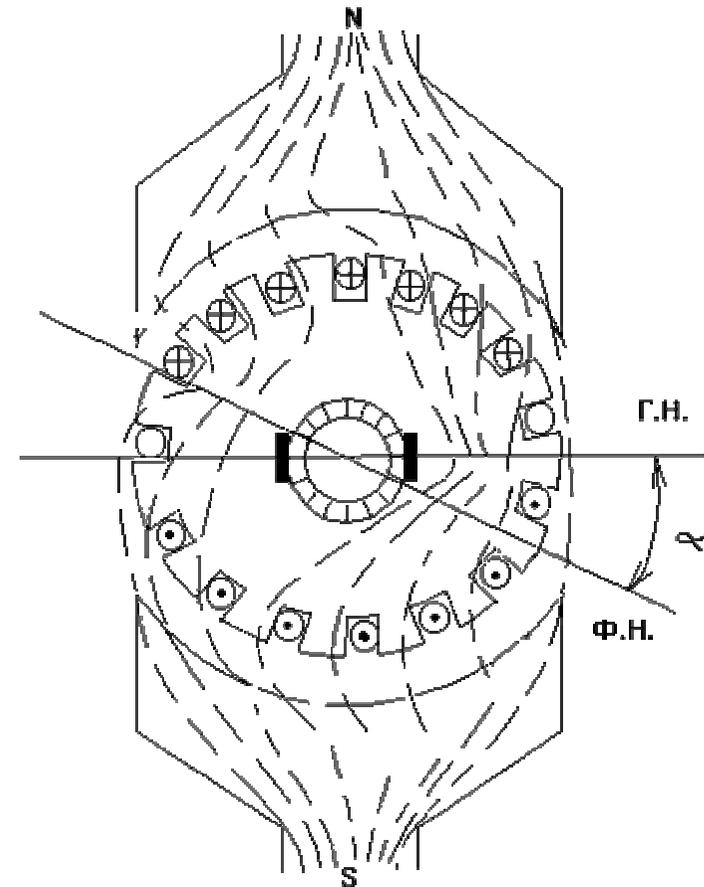
# Реакция якоря



**поле возбуждения**



**якоря**



**результатирующее**

- **Понижение напряжения (генератор);**
- **Изменение вращающего момента и частоты вращения (двигатель);**
- **Повышение напряжения между пластинами коллектора (30-50 В) – искрение; круговой огонь по коллектору**

## **Способы устранения реакции якоря**

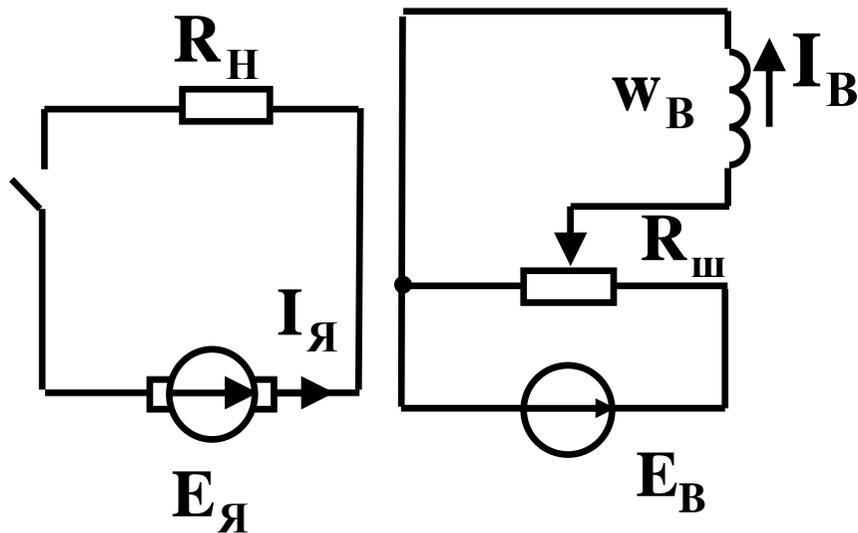
- **Настройка коммутации (под нагрузкой перемещая щетки добиваются совпадения ГН и ФН);**
- **Установка добавочных полюсов на ГН (их обмотки соединяются с ОЯ так, чтобы магнитное поле полюсов компенсировало поле якоря);**
- **Компенсационная обмотка, размещенная в полюсных наконечниках (соединяется последовательно с ОЯ);**
- **Увеличение воздушного зазора**

# Типы машин постоянного тока

- независимого возбуждения (ОВ подключается к постороннему источнику);
- параллельного возбуждения (ОВ подсоединяется параллельно ОЯ);
- последовательного возбуждения (ОВ включается последовательно с ОЯ);
- смешанного возбуждения (на каждом полюсе две ОВ, которые могут включаться согласно или встречно)

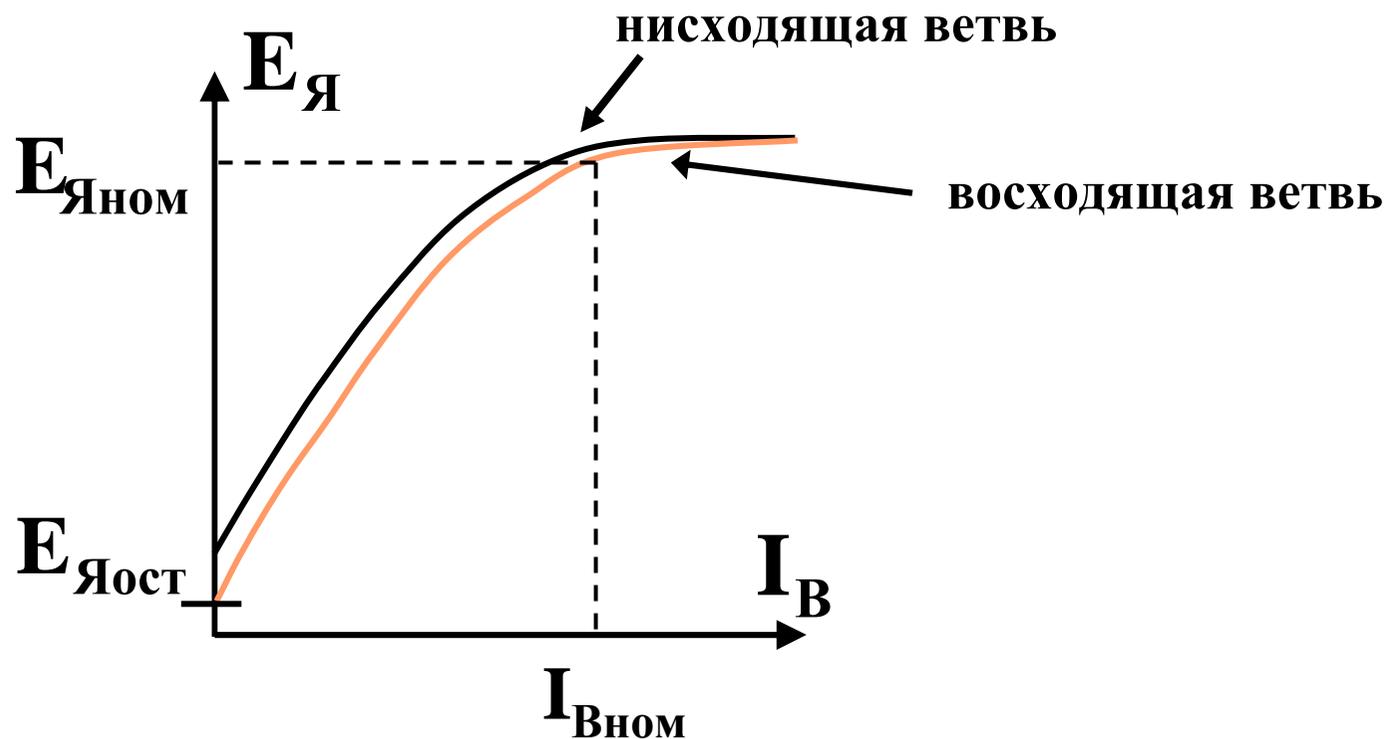
# Генераторы постоянного тока

## 1. Генератор независимого возбуждения



Ток возбуждения не зависит от нагрузки, следовательно можно регулировать магнитный поток в широких пределах ( $R_{\text{ш}}$ )

# Характеристика холостого хода



Снимается при разомкнутой цепи якоря ( $I_{\text{я}}=0$ ) и постоянной частоте вращения  $n$

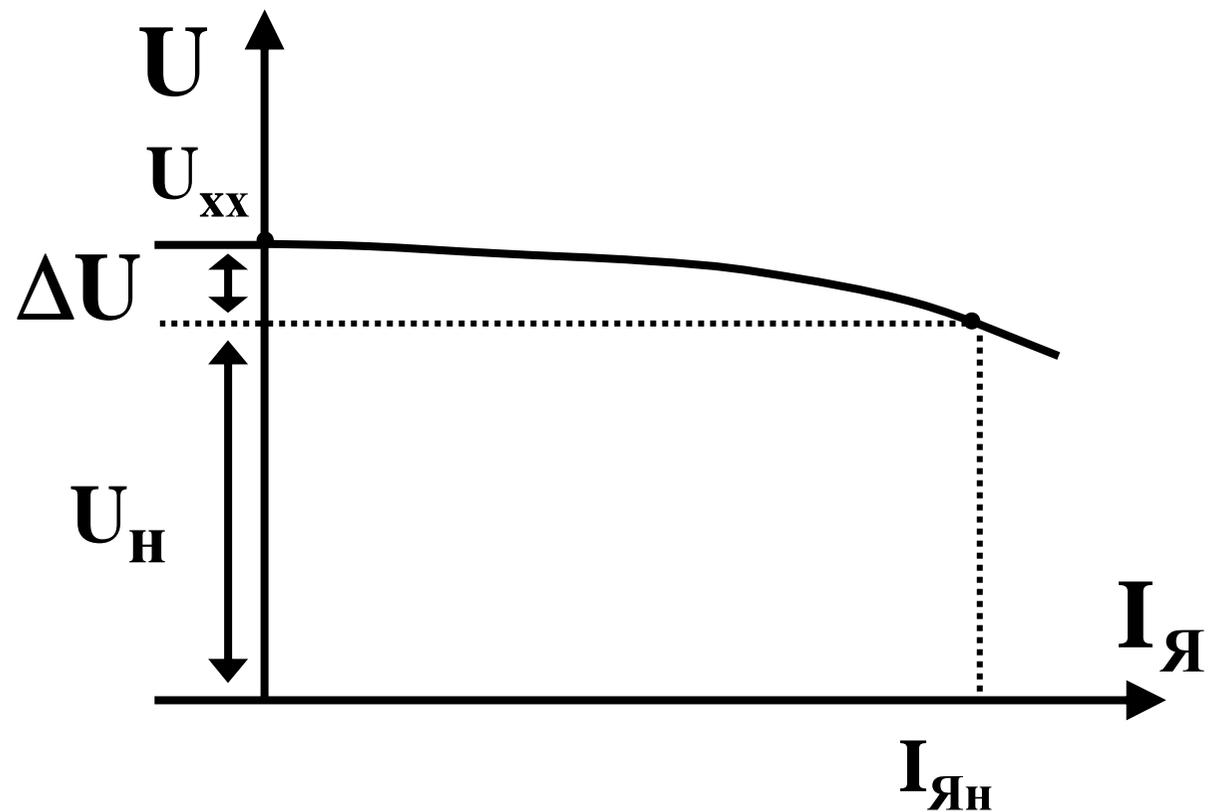
## Внешняя характеристика $U(I_{\text{я}})$

Снимается при номинальном токе возбуждения и постоянной частоте вращения  $n$

$$U = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Напряжение на зажимах цепи якоря меньше ЭДС из-за падения напряжения на активном сопротивлении  $R_{\text{я}}$ .  
Характеристика нелинейна из-за реакции якоря.

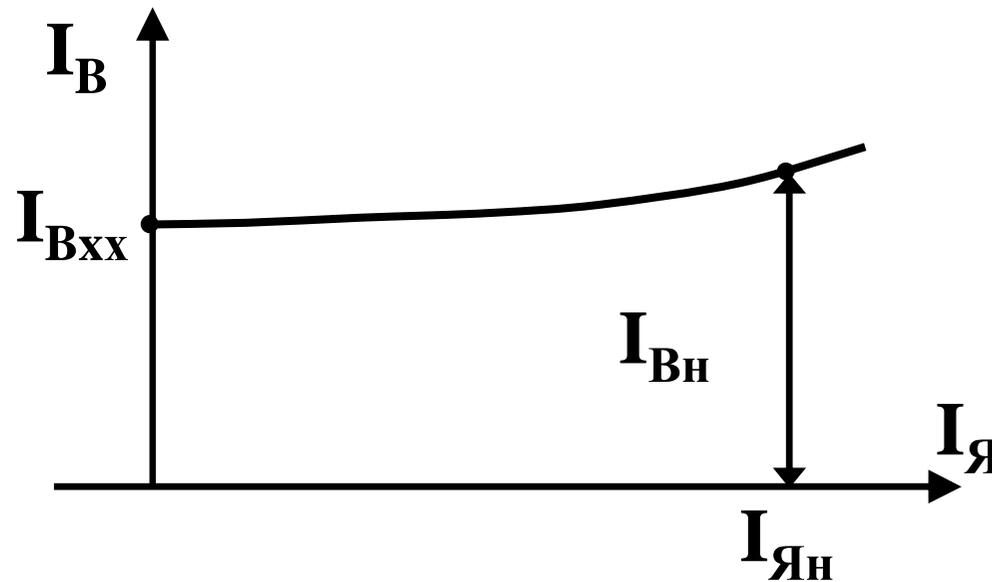
$$\Delta U = \frac{U_{\text{хх}} - U_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% - \text{номинальное изменение напряжения (5-10\%)}$$



**Если увеличивать ток якоря выше номинального, то ОЯ, щетки и коллектор начнут перегреваться, а под щетками начнется сильное искрение**

# Регулировочная характеристика $I_B(I_A)$

Снимается при постоянном напряжении и частоте вращения

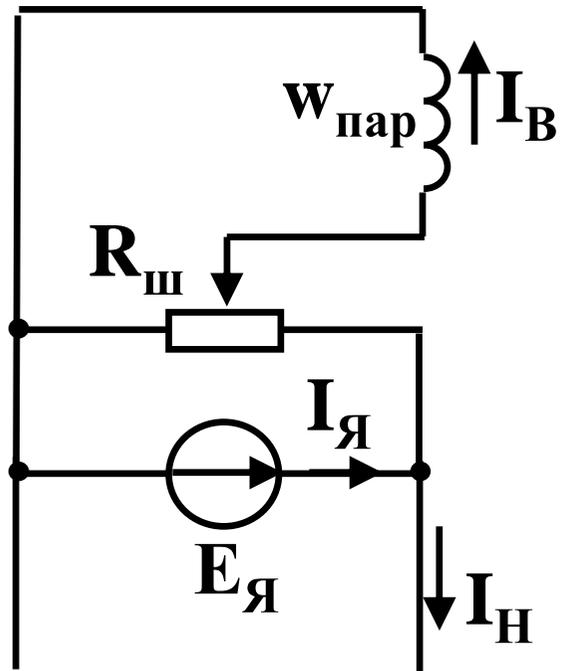


## **2. Генератор параллельного возбуждения**

**Часть тока якоря служит для возбуждения главного магнитного поля машины. Применяются наиболее часто. Напряжение мало изменяется из-за колебаний нагрузки.**

$$I_{\text{в}} \ll I_{\text{я}}$$

**ОВ имеет большее число витков тонкого провода и обладает значительным сопротивлением**



# Самовозбуждение

$$\Phi_{\text{ост}} \Rightarrow E_{\text{Яост}} \Rightarrow I_{\text{В}} \Rightarrow I_{\text{В}} W_{\text{пар}}$$

**МДС должна быть направлена согласно по отношению к  $\Phi_{\text{ост}}$ , т.е. подмагничивать его. При таком соединении  $I_{\text{В}}$  усиливает магнитное поле машины.**

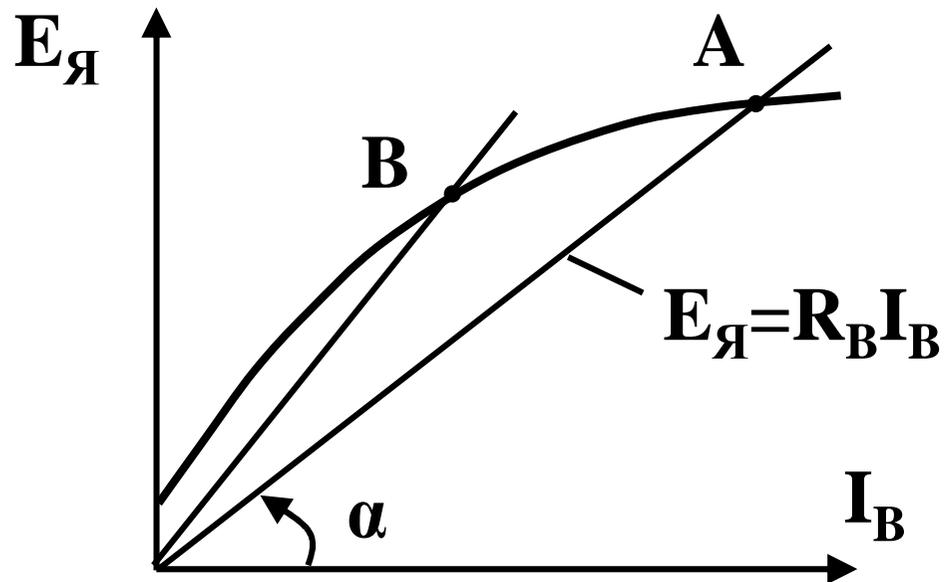
$$\Phi \uparrow \Rightarrow E_{\text{Я}} \uparrow \Rightarrow I_{\text{В}} \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow$$

**Увеличение тока возбуждения и потока ограничивается насыщением магнитной цепи.**

## **Условия самовозбуждения**

- **наличие остаточного магнитного потока;**
- **согласное включение ОВ и ОЯ;**
- **сопротивление ОВ должно быть меньше критического**

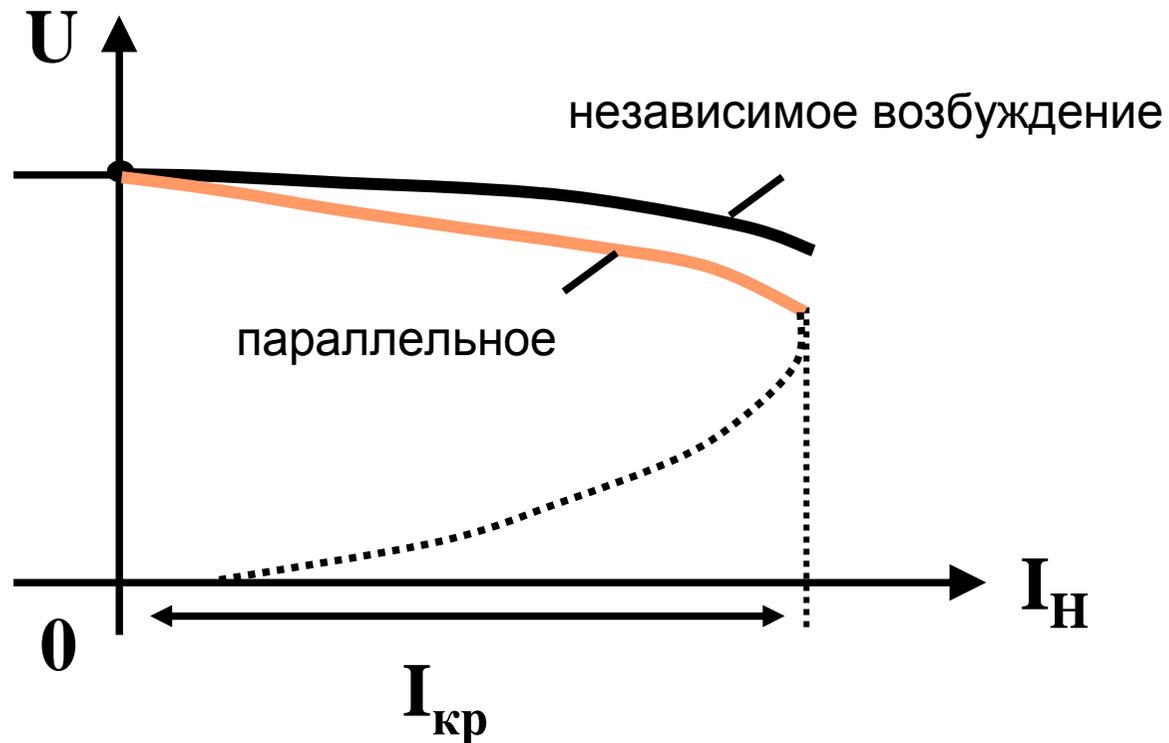
## Характеристика холостого хода



Установившийся ток возбуждения определяется из условия:

$$E_{\text{я}} = R_{\text{в}} I_{\text{в}}$$

# Внешняя характеристика



**Ток якоря, при котором машина переходит в условия саморазмагничивания, называется критическим. Его значение больше номинального в 2-2,5 раза.**

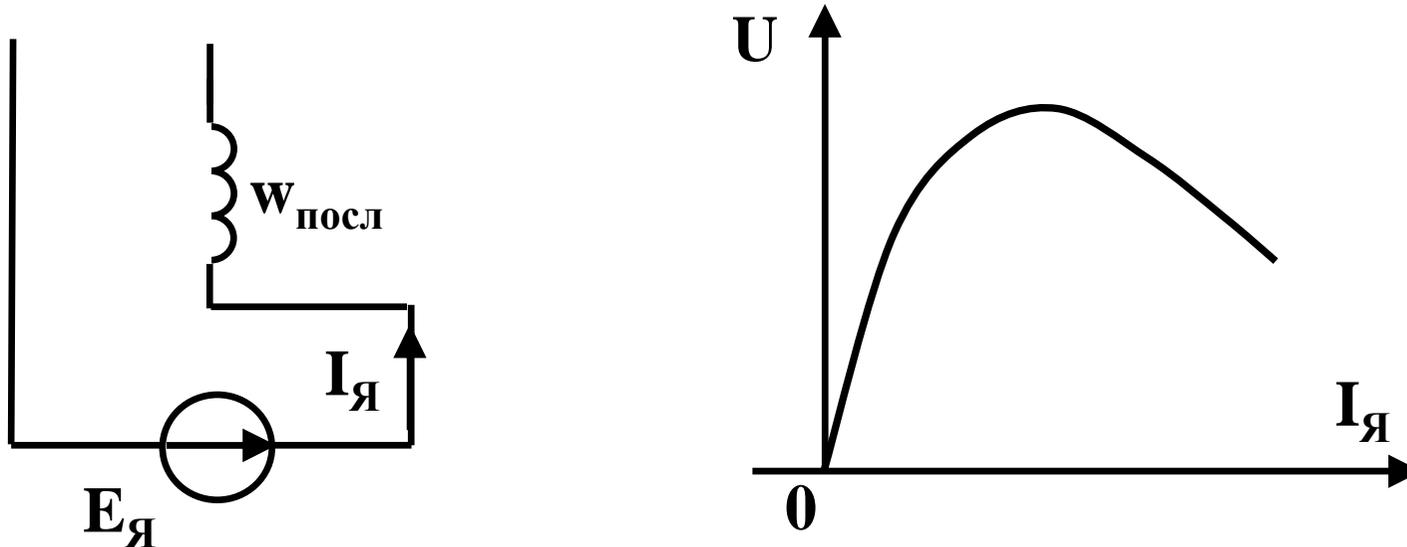
# Причины падения напряжения

- Увеличение падения напряжения в ОЯ
- Реакция якоря
- Уменьшение силы тока возбуждения

$$I_{\text{В}} = \frac{U}{R_{\text{В}}}$$

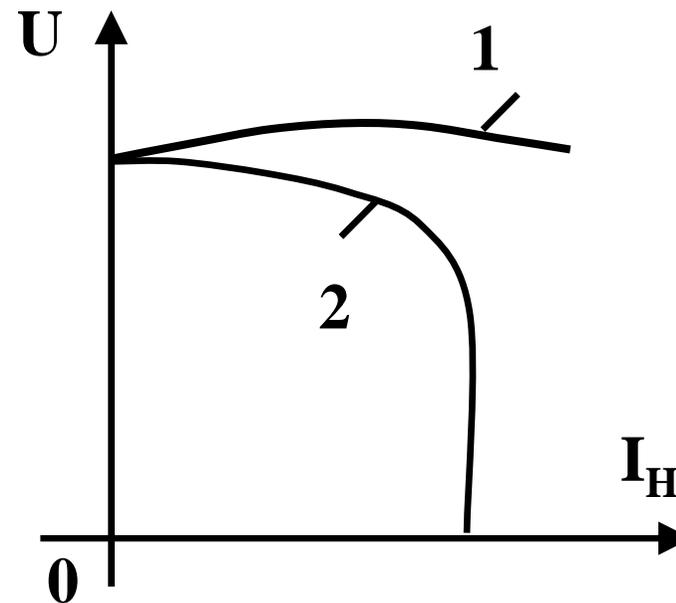
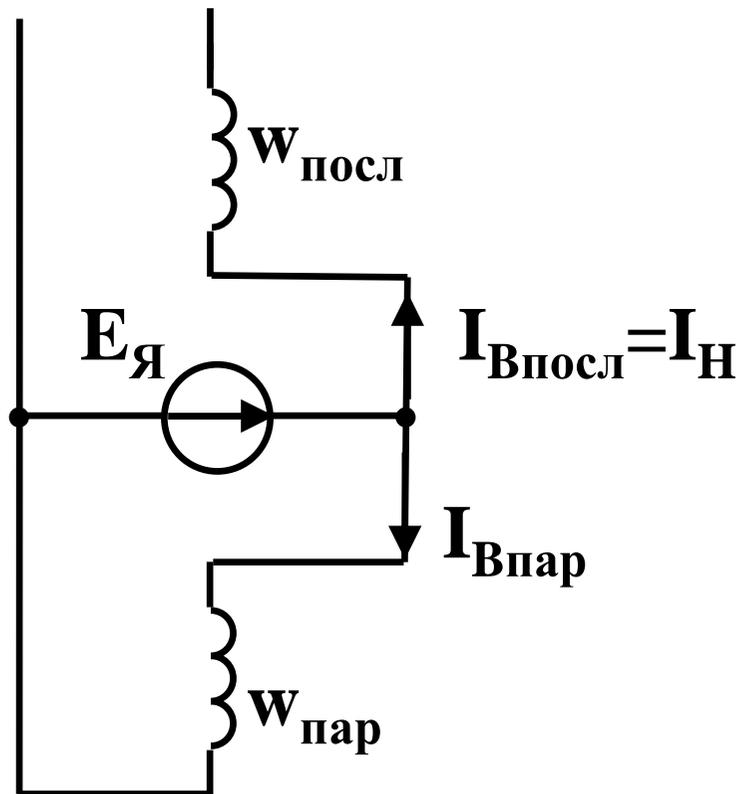
Регулировочная характеристика как у генератора независимого возбуждения

# Генератор последовательного возбуждения



**Ток нагрузки является током возбуждения. При ХХ ЭДС индуктируется только  $\Phi_{\text{ост}}$ , поэтому нельзя снять характеристику ХХ и регулировочную.**

# Генератор смешанного возбуждения



- 1- согласное включение
- 2- встречное включение  
(электродуговая сварка)

**Если обмотки возбуждения включить согласно, их магнитные потоки будут складываться. В этом случае ЭДС от  $\Phi_{\text{посл}}$  компенсирует падение напряжения в ОЯ и уменьшение ЭДС от снижения тока возбуждения. При встречном включении напряжение резко падает.**

# Пуск двигателя

**Возможны три способа пуска двигателя:**

- 1) прямой, при котором ОЯ подключается прямо к сети;**
- 2) реостатный с помощью пускового реостата, который включается последовательно в цепь якоря;**
- 3) при пониженном напряжении, подводимом к якорю.**

## Прямой пуск

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \quad n = 0, \quad E_{\text{я}} = 0$$

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}}} \approx (10 \div 30\%) I_{\text{н}}$$

Такой ток вызывает искрение на коллекторе, большой пусковой момент, удар по валу.

Прямой пуск - для двигателей до 1 кВт, у которых сопротивление якоря относительно велико, а время разгона < 1с. В этом случае обмотка якоря не успевает нагреться, и толчок момента оказывается сравнительно небольшим.

## **Реостатный пуск**

**В цепь якоря включают пусковой реостат, сопротивление которого выбирают с таким расчетом, чтобы пусковой ток не превышал**

$$(2 \div 2,5)I_{\text{ном}}$$

**По мере увеличения частоты вращения двигателя пусковой реостат выводят.**

### **Пуск при пониженном напряжении**

**в двигателях большой мощности (пусковой реостат вызывает значительные потери энергии).**

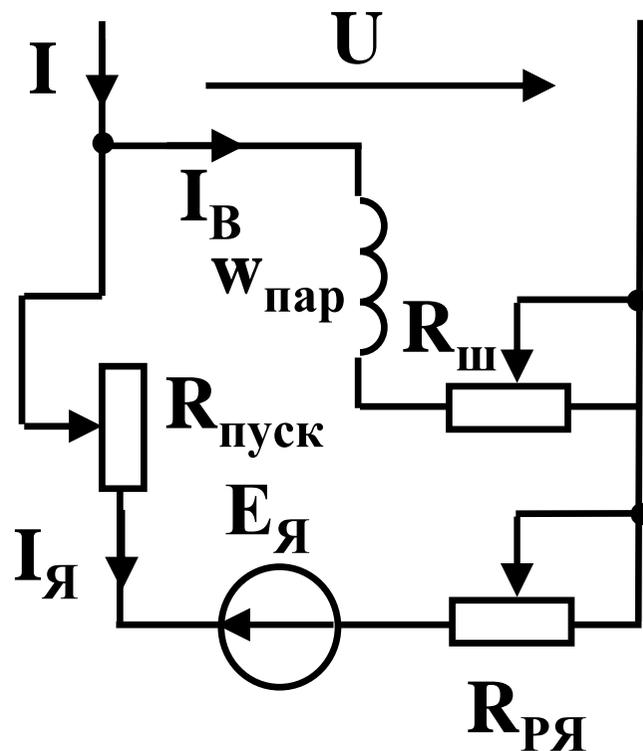
**Пониженное напряжение, подводится к якорю от источника с регулируемым напряжением, например, в системах генератор-двигатель.**

**Среди всех электродвигателей ДПТ имеют лучшие пусковые качества.**

$$I_{\text{пуск}} = (2 \div 2,5) I_{\text{ном}}$$

$$M_{\text{пуск}} = (2,5 \div 4) M_{\text{ном}}$$

# Двигатель с параллельным возбуждением

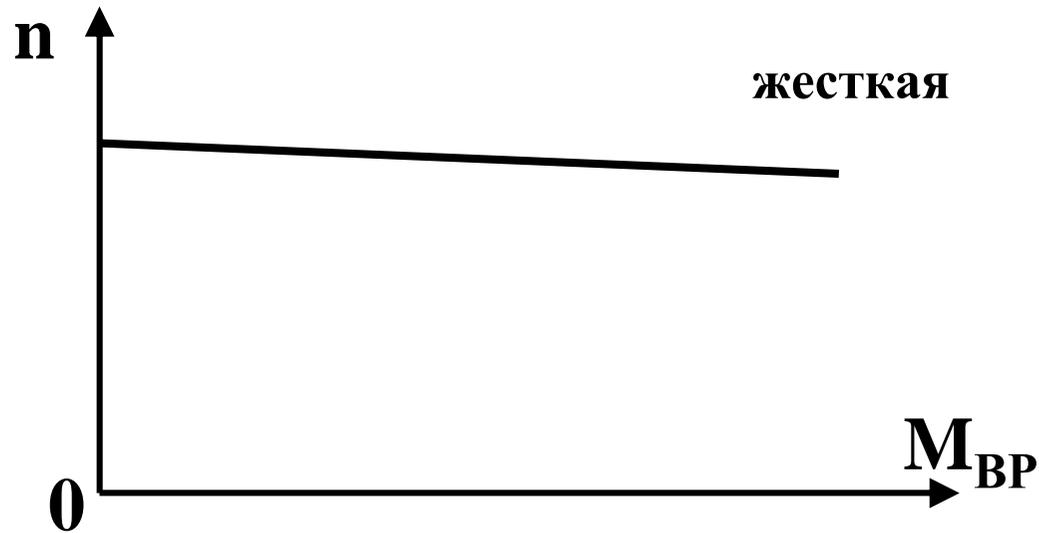


**Если ОВ подключить через регулировочный реостат к другому источнику постоянного напряжения, то получится двигатель с независимым возбуждением.**

$$E_{\text{я}} = C_E \cdot \Phi \cdot n, \quad I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$
$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_E \Phi}$$

**- изменяется очень мало**

# Механическая характеристика



$$M_T \uparrow \Rightarrow n \downarrow \Rightarrow E_{я} \downarrow \Rightarrow I_{я} \uparrow \Rightarrow M_{BR} \uparrow$$

$$M_{BR} = M_T$$

# Способы регулирования частоты вращения

- **реостатный – изменение суммарного сопротивления цепи якоря;**
- **полюсной – изменение магнитного потока полюсов;**
- **якорный – изменение напряжения, подводимого к якорю**