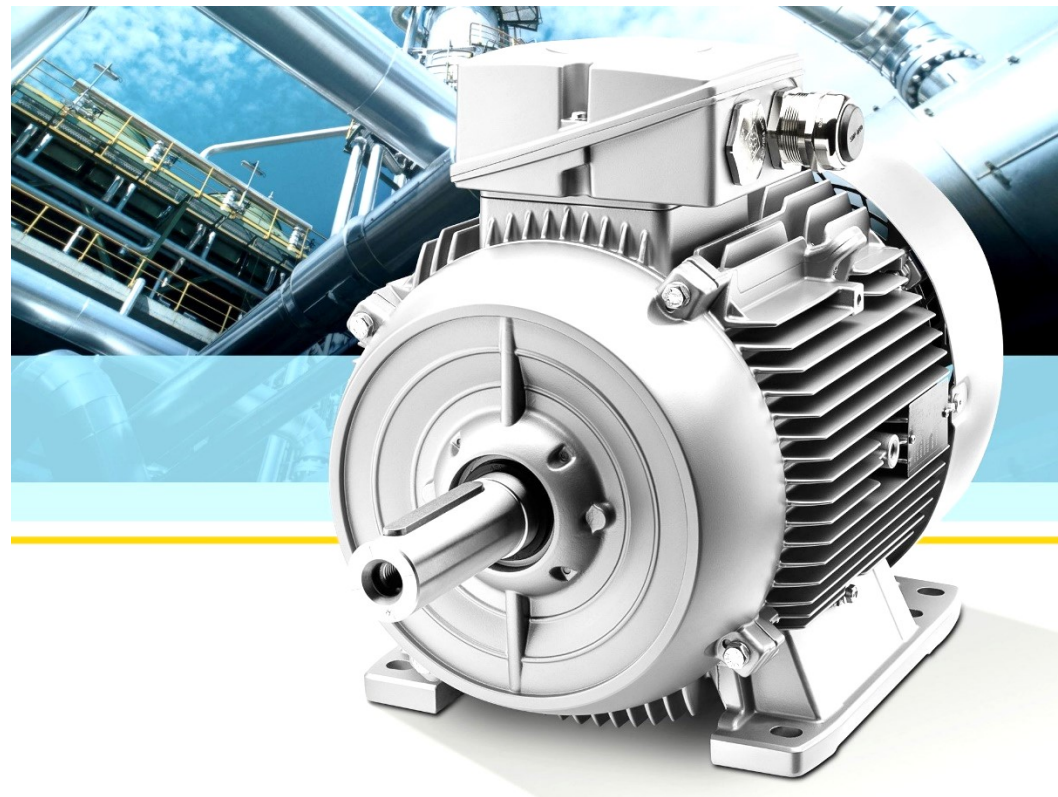


# Электронные системы наземных транспортно- технологических средств

## Лекция 2 Энергетика электропривода

**Автор:**

**Пузаков Андрей Владимирович, канд. техн. наук,  
доцент кафедры технической эксплуатации и  
ремонта автомобилей**



## План лекции:

1. Нагревание и охлаждение электродвигателей
2. Классы нагревостойкости изоляции
3. Степень защиты электродвигателей
4. Способы охлаждения электродвигателей
5. Способы монтажа электродвигателей
6. Режимы работы электроприводов
7. Аппаратура управления электроприводами
8. Устройства защиты электропривода
9. Автоматические выключатели
10. Заключение
11. Вопросы для самоконтроля
12. Литература

**Цель лекции:** изучение процессов нагрева и охлаждения электродвигателей; режимов работы электропривода; устройства и принципа действия аппаратуры управления и защиты электроприводов.

В результате изучения лекции обучающийся должен:

**знать:**

- законы теплового равновесия электродвигателей в процессе нагрева и охлаждения;
- классы нагревостойкости изоляционных материалов электродвигателей;
- степени защиты, способы охлаждения и монтажа, а также условия эксплуатации электродвигателей;
- типовые режимы работы электроприводов;
- устройство и принцип действия аппаратуры управления и защиты электроприводов.

**уметь:**

- подбирать электродвигатели в соответствии с условиями эксплуатации;
- подбирать мощность электродвигателя исходя из режима работы электропривода;
- читать и составлять принципиальные схемы электроприводов с указанием аппаратуры управления и защиты.

## Нагревание и охлаждение электродвигателей

Все виды потерь в двигателе преобразуются в теплоту, которая частично идет на нагревание двигателя, а частично отдается в окружающую среду. Условно принято считать, что нагрев происходит равномерно по всему объему двигателя, а рассеивание теплоты – равномерно со всей его поверхности.

Количество теплоты, расходуемое  
на нагревание двигателя

Количество теплоты,  
выделяемое в  
двигателе

$$qdt = mcd\tau + S\lambda\tau dt$$

Количество теплоты, рассеиваемое с  
поверхности двигателя в окружающую  
среду

$m$  – масса нагреваемого двигателя, кг;

$c$  – удельная теплоемкость материала двигателя, т.е. количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг этого материала на 1 °С;

$\tau$  – превышение температуры нагрева двигателя над температурой окружающей среды, °С;

$\lambda$  – коэффициент теплового рассеяния, т.е. количество теплоты, рассеиваемое с единицы поверхности двигателя за 1 с при превышении температуры на 1 °С.

## Нагревание и охлаждение электродвигателей

В начальный период работы двигатель имеет температуру нагрева, не отличающуюся от температуры окружающей среды, т.е. температура перегрева  $\tau = 0$ . В этом случае рассеяния теплоты в окружающую среду не происходит, т.е.  $S\lambda\tau dt = 0$ , и вся выделяемая в двигателе теплота идет на его нагревание.

Затем, когда температура нагрева двигателя начинает превышать температуру окружающей среды, часть теплоты, выделяемой в двигателе, начинает рассеиваться в окружающую среду.

Когда температура нагрева двигателя достигает установившегося значения  $\tau_{уст} = \text{const}$ , вся выделяемая в двигателе теплота рассеивается в окружающую среду, т.е. наступает режим **теплового равновесия**.

$$\boxed{qdt = S\lambda\tau_{уст}dt} \quad \tau_{уст} = \frac{q}{S\lambda} \quad (1)$$

Выражение (1) позволяет сделать выводы:

- установившаяся температура перегрева не зависит от массы двигателя, а определяется количеством теплоты, выделяемой в двигателе в единицу времени, которое эквивалентно мощности потерь двигателя;
- установившаяся температура перегрева обратно пропорциональна площади охлаждаемой поверхности  $S$  и коэффициенту теплового рассеяния  $\lambda$ , т. е. зависит от интенсивности охлаждения двигателя – у двигателей со специальными способами охлаждения (искусственно вентилируемых)  $\tau_{уст}$  меньше, чем у двигателей с естественной вентиляцией (при их одинаковой конструкции и условиях работы).

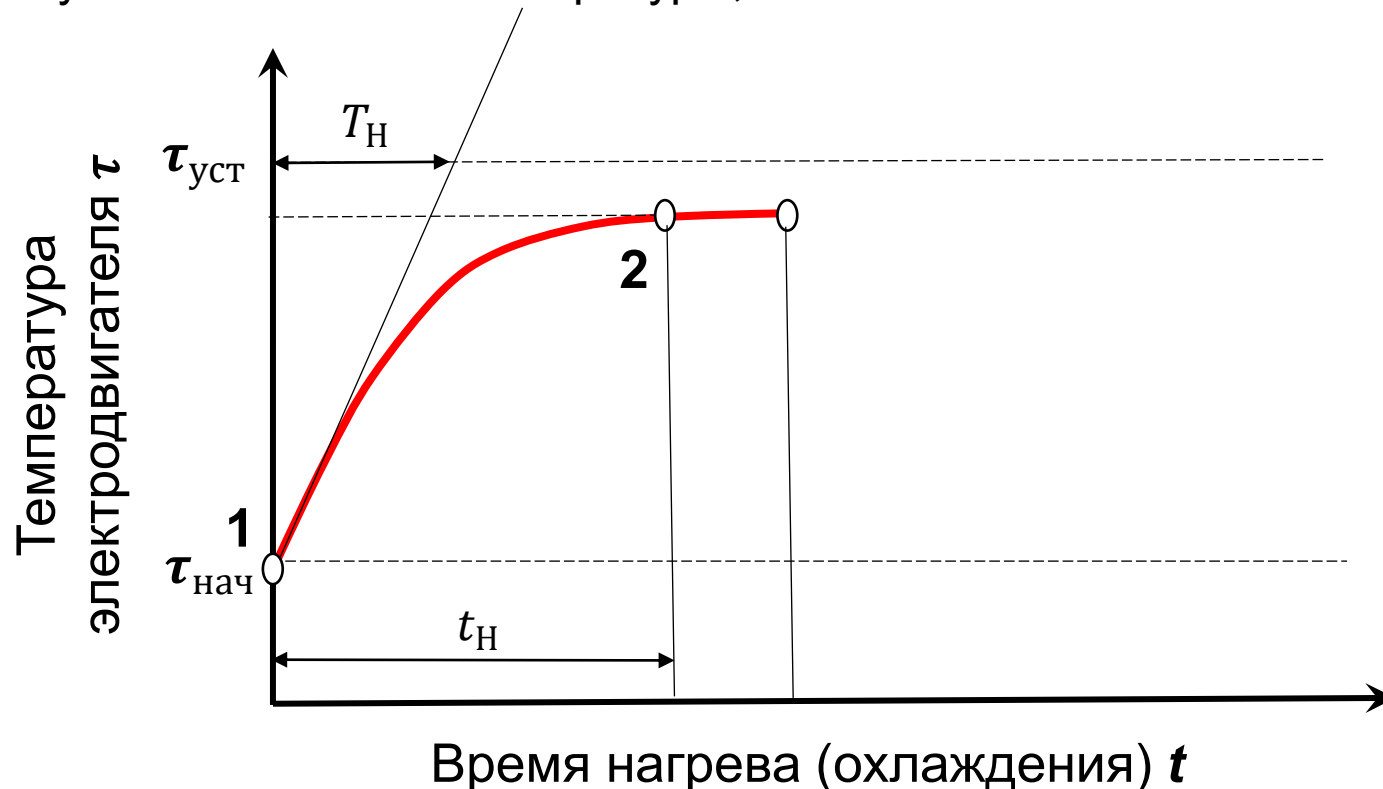
## Нагревание и охлаждение электродвигателей

Зависимость температуры перегрева двигателя  $\tau$  от времени  $t$  выражается равенством:

$$\tau = \tau_{уст} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}}\right) + \tau_{нач} e^{-\frac{t}{T_H}}$$

Уравнение нагрева электродвигателя

$T_H$  – постоянная времени нагревания, показывающая время (с), необходимое для нагревания двигателя до установившейся температуры, если бы не было теплового рассеяния с его поверхности.



Теоретически двигатель достигает установившейся температуры перегрева за  $\tau_H = \infty$ .

Проведя касательную к графику нагревания в его начальной части, получим отрезок, который в масштабе времени определяет постоянную времени нагревания  $T_H$ .

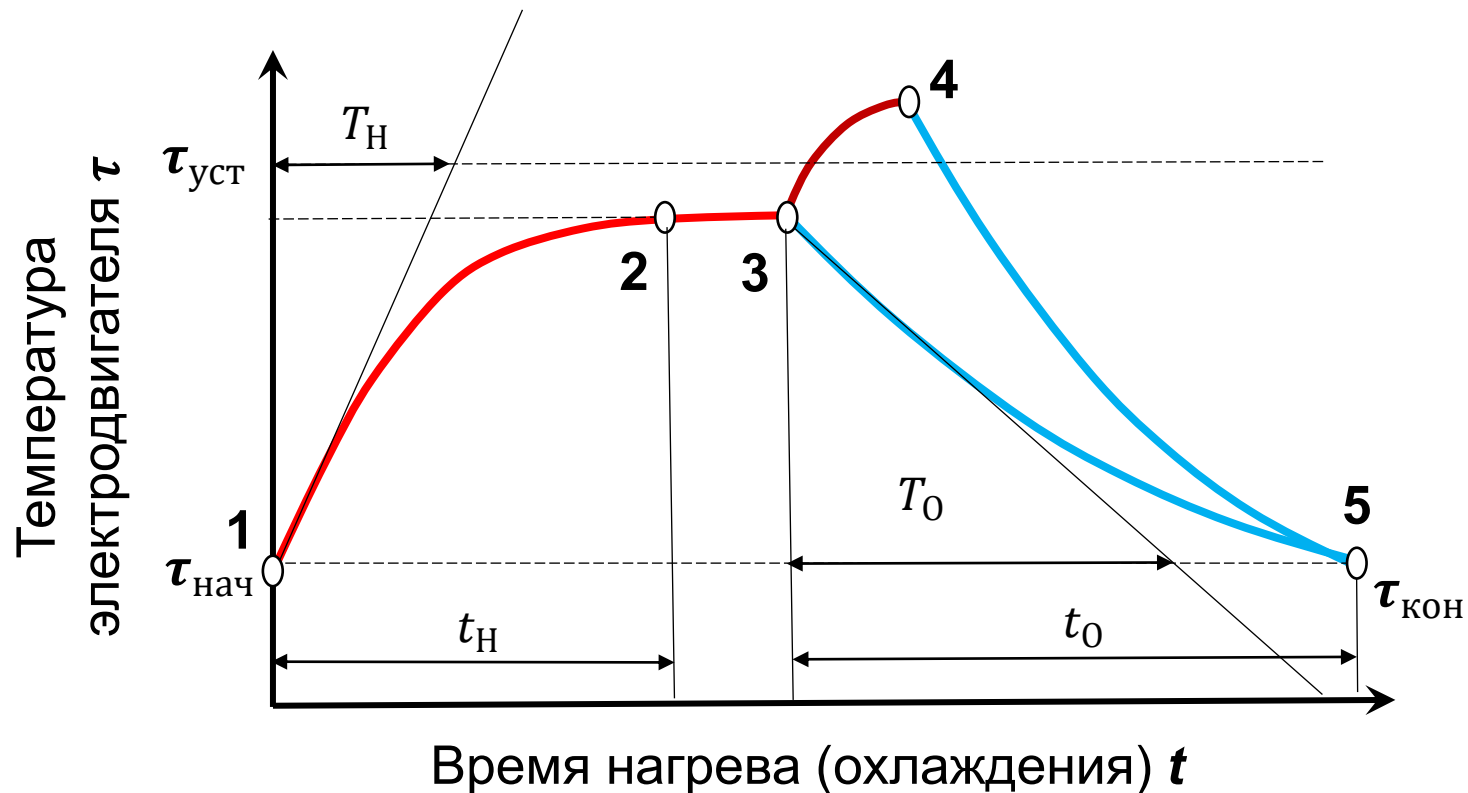
## Нагревание и охлаждение электродвигателей

Если двигатель отключить от сети, то тепловое рассеяние с его поверхности будет происходить за счет накопленной в нем теплоты. При этом температура перегрева двигателя будет понижаться до тех пор, пока температура двигателя не станет равной температуре окружающей среды. Этот процесс остывания протекает по графику охлаждения

**Уравнение охлаждения электродвигателя**

$$\tau = \tau_{уст} e^{-\frac{t}{T_0}}$$

$T_0$  – постоянная времени охлаждения, с.

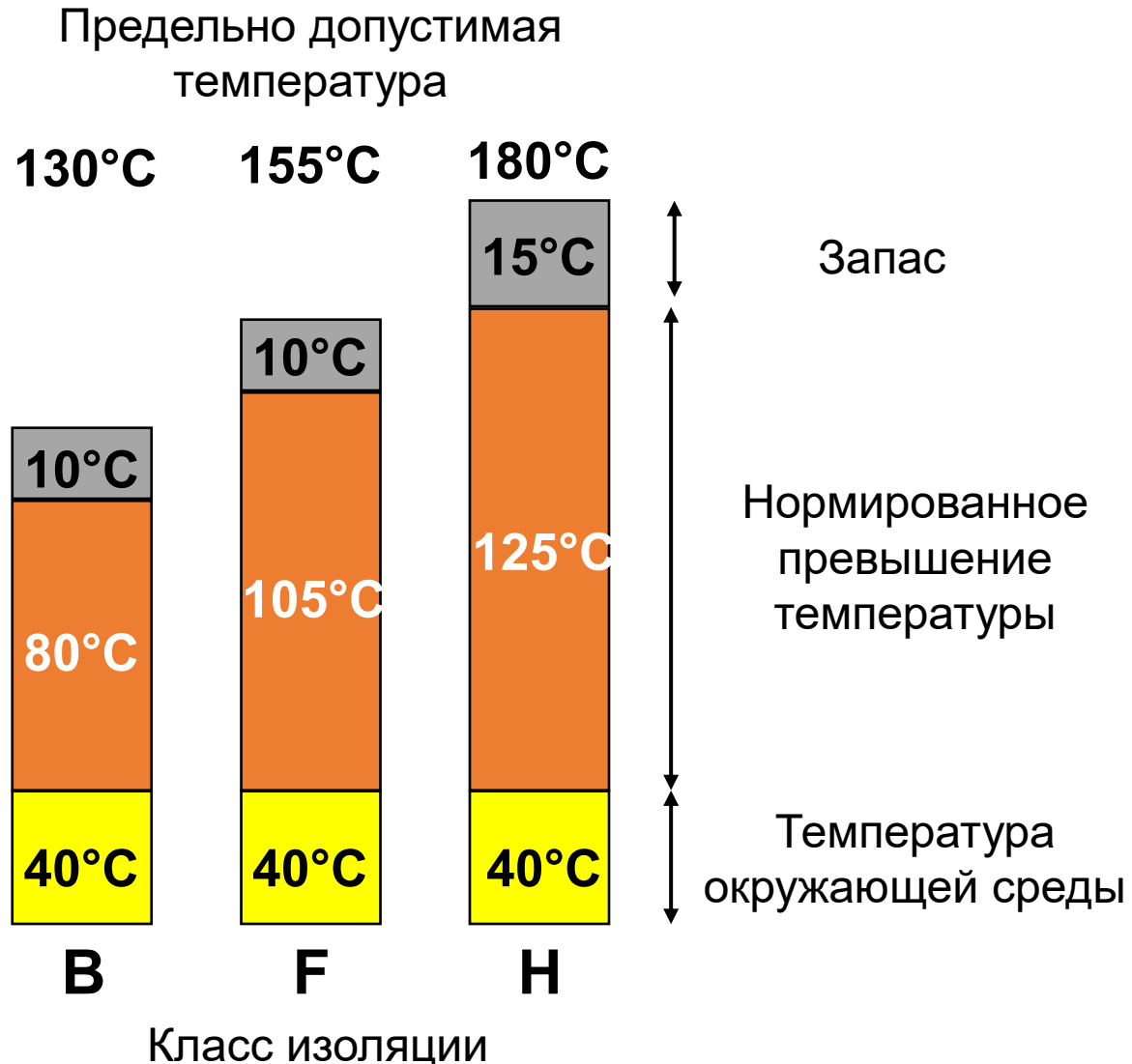


## Классы нагревостойкости изоляции

Потери энергии электродвигателя вызывают его **нагрев**. Допустимый нагрев двигателя определяется **нагревостойкостью** применяемых изоляционных материалов. Изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, делятся на следующие основные **классы нагревостойкости**:

Класс изоляции	Применяемые материалы	Допустимая температура, °С
<b>A</b>	пропитанные волокнистые материалы из целлюлозы и шелка	<b>105</b>
<b>E</b>	синтетические органические пленки	<b>120</b>
<b>B</b>	материалы на основе слюды, асбеста, стекловолокна, применяемые с органическими связывающими и пропитывающими составами	<b>130</b>
<b>F</b>	материалы на основе слюды, асбеста, стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связывающими и пропитывающими составами	<b>155</b>
<b>H</b>	материалы на основе слюды, асбеста, стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими материалами и пропитывающими составами	<b>180</b>
<b>C</b>	слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связывающих составов	<b>&gt;180</b>

## Классы нагревостойкости изоляции



В современных электродвигателях применяют изоляцию трех наиболее нагревостойких классов: **В**, **Ф** и **Н**.

В процессе работы двигателя изоляция обмоток нагревается неравномерно, при этом измерение температуры в наиболее нагреваемых точках изоляции технически невозможно. Поэтому, согласно действующему стандарту, предельные температуры нагревания обмоток принимают ниже предельно допустимых значений изоляции соответствующего класса нагревостойкости.

При тепловых расчетах принимается стандартная температура окружающей среды, равная 40 °С, которой соответствует номинальная мощность электродвигателя, указанная на его табличке.

# Классы нагревостойкости изоляции



Видеофрагмент (

## Степень защиты электродвигателей

Степень защиты электродвигателей обозначается двумя буквами **IP** – начальные буквы слов International protection и двумя цифрами.

**Первая цифра** обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь двигателя твердых тел.

**Вторая цифра** обозначает степень защиты от попадания внутрь двигателя воды.

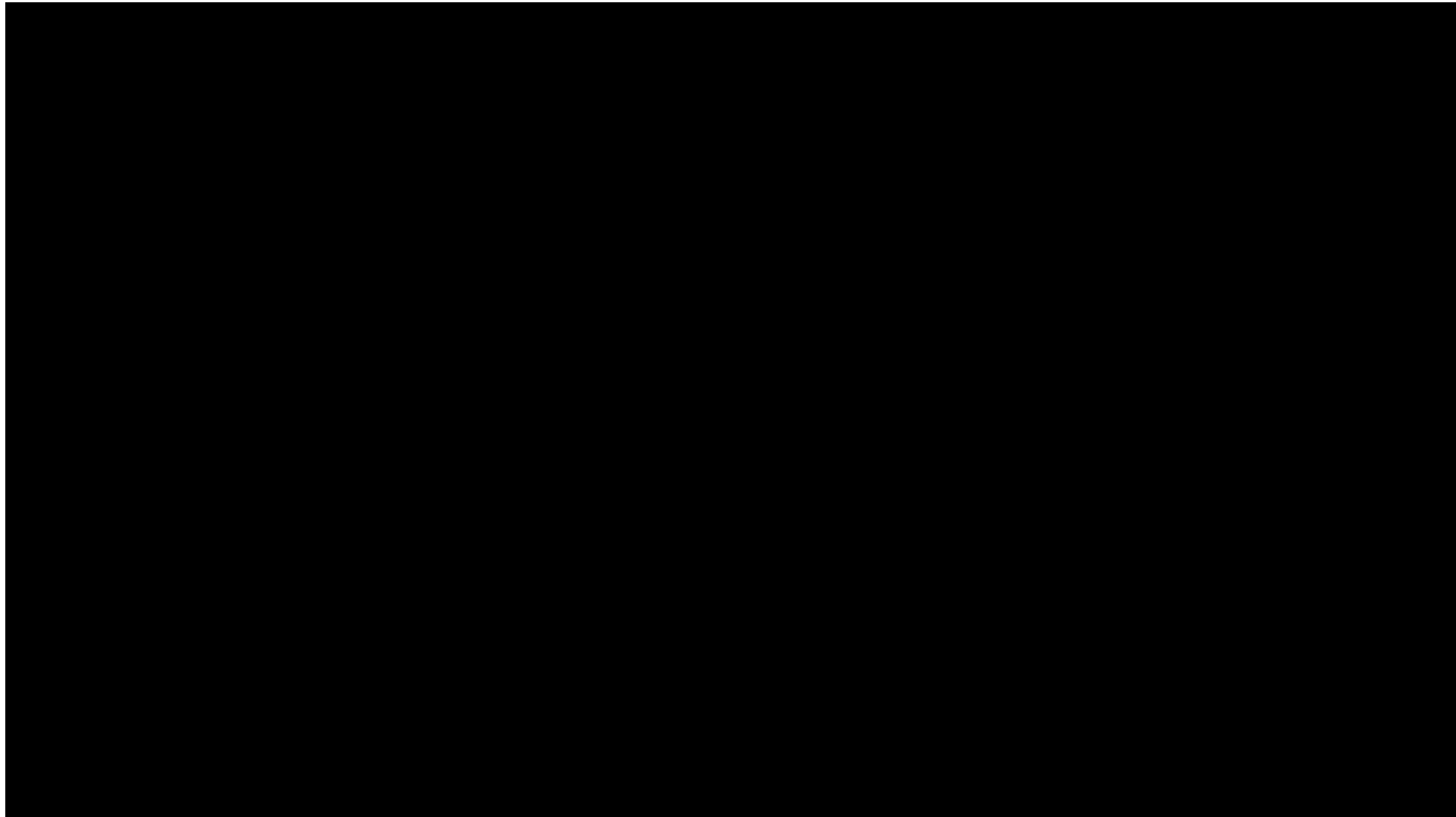
### Защита от посторонних предметов

- 0 - Защита отсутствует
- 1 - Защита от твердых предметов с размерами более 50 мм
- 2 - Защита от твердых предметов с размерами более 12 мм
- 3 - Защита от твердых предметов с размерами более 2.5 мм
- 4 - Защита от твердых предметов с размерами более 1 мм
- 5 - Защита от пыли
- 6 - Полная защита от пыли

### Защита от проникновения воды

- 0 - Защита отсутствует
- 1 - Защита от вертикально падающих капель воды
- 2 - Защита от капель воды, падающих с отклонением от вертикали не более 15°
- 3 - Защита от дождя
- 4 - Защита от водяных брызг
- 5 - Защита от водяных струй под давлением
- 6 - Защита от волн
- 7 - Защита от погружения (глубина не более 1 м)
- 8 - Защита от затопления (глубина в м указывается дополнительно)

# Степень защиты электродвигателей



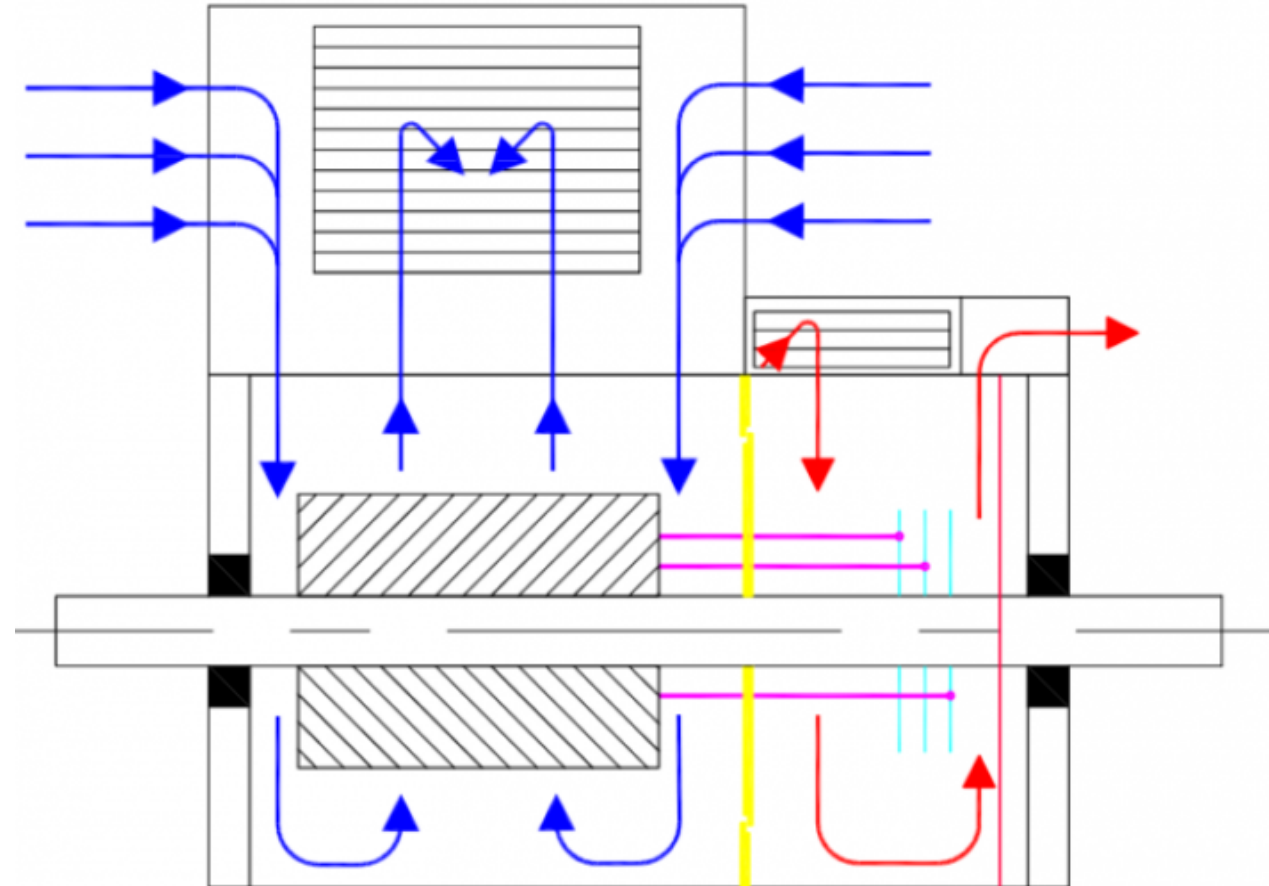
Видеофрагмент (

## Способы охлаждения электродвигателей

Эффективным средством понижения температуры перегрева двигателей, а следовательно, средством повышения их номинальной мощности при заданных габаритах является применение **вентиляции**.

Сущность вентиляции состоит в искусственном создании газового потока (хладагента), проходящего либо через внутреннюю полость двигателя (**внутренний продув**), либо по его поверхности (**наружный обдув**) с целью интенсивного отбора теплоты и **выноса** ее за пределы двигателя или даже за пределы помещения, в котором этот двигатель находится.

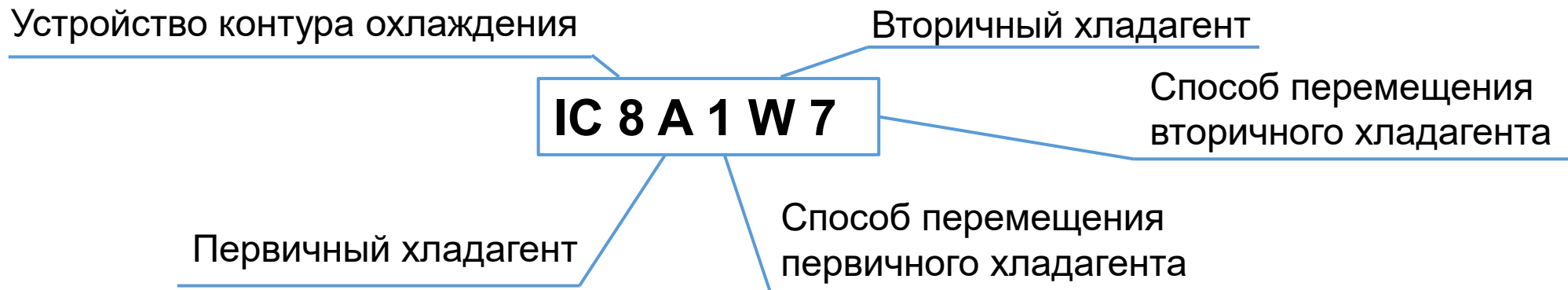
Вентиляция осуществляется **вентиляторами**. Если вентилятор приводится во вращение вентилируемым двигателем, то имеет место самовентиляция, если же вентилятор приводится во вращение специальным двигателем, то вентиляцию называют независимой.



## Способы охлаждения электродвигателей

Способы охлаждения двигателей определены стандартом. Обозначение этих способов состоит из начальных букв **IC** слов *International Cooling* и ряда букв и цифр, обозначающих способ охлаждения.

**Первой** идет цифра, обозначающая устройство системы охлаждения, которая применяется как для первичного, так и для вторичного контура. Каждый контур обозначается буквой, характеризующей хладагент. После этого следует цифра, обозначающая способ его перемещения.



# Способы охлаждения электродвигателей

## Устройство контура охлаждения

- 0 - Свободная циркуляция
- 1 - Вентиляция с помощью входной трубы или входного канала
- 2 - Вентиляция с помощью выходной трубы или выходного канала
- 3 - Вентиляция с помощью входной и выходной трубы или канала
- 4 - Охлаждение наружной поверхности машины
- 5 - Встроенный теплообменник (использующий окружающую среду)
- 6 - Установленный на машине теплообменник (использующий окружающую среду)
- 7 - Встроенный теплообменник (использующий промежуточную среду)
- 8 - Установленный на машине теплообменник (использующий промежуточную среду)
- 9 - Отдельно стоящий теплообменник (использующий окружающую или промежуточную среду)

## Буква

## Хладагент

A

Воздух

F

H

N

C

W

U

S

## Способ перемещения хладагента

Цифра	Описание	Определение
0	Свободная конвекция	Хладагент перемещается благодаря разности температур
1	Самоохлаждение	Перемещение хладагента зависит от окружной скорости основной машины или за счет вращения ротора, или с помощью вентилятора или насоса, приводимых ротором основной машины
2, 3, 4		Зарезервировано для использования в будущем
5	Встроенное независимое охлаждение	Хладагент перемещается с помощью встроенного устройства, получающего энергию независимо от скорости основной машины, т.е. встроенного вентилятора или насоса, приводимого своим собственным электродвигателем
6	Встроенное независимое охлаждение, установленное на машине	Хладагент перемещается с помощью установленного на машине устройства, получающего энергию независимо от ее скорости, т.е. установленный на машине вентилятор или насос, приводимый своим собственным электродвигателем
7	Отдельное и независимое охлаждение или подача хладагента под давлением	Хладагент перемещается с помощью отдельно установленного и не зависящего от машины устройства или под давлением, т.е. от водопроводной или газовой сети под давлением
8	Охлаждение благодаря передвижению машины	Перемещение хладагента осуществляется за счет относительного перемещения машины и хладагента благодаря движению машины в хладагенте или за счет нахождения машины в потоке жидкости или газа
9	Все другие способы перемещения хладагента	Перемещение хладагента осуществляется способом, отличным от описанных выше

## Способы монтажа электродвигателей

Для обозначения конструктивного исполнения по **способу монтажа** применяют латинские буквы **IM** (от англ. International Mounting) и следующие за ними четыре цифры.

Первая цифра показывает группу конструктивного исполнения (на лапах, без лап, с фланцем и т.д.), вторая и третья – способы монтажа, четвертая – исполнение конца вала (цилиндрический, конический и др.).

Наиболее распространенными по конструктивному исполнению и способу монтажа являются электродвигатели:

- с двумя подшипниковыми щитами, на лапах, вал горизонтальный (IM1001);
- то же, но с вертикальным валом, направленным вниз (IM1011);
- на лапах, с фланцем на одном подшипниковом щите, вал горизонтальный (IM2001);
- с двумя подшипниковыми щитами, без лап, с фланцем на подшипниковом щите и горизонтальным валом (IM3001);
- то же, но с фланцем на станине (IM4001).

## Условия эксплуатации электродвигателей

**Климатическое исполнение** электродвигателей обозначается буквами.

Буква	Климатическое исполнение
<b>У</b>	С умеренным климатом
<b>ХЛ</b>	С холодным климатом
<b>УХЛ</b>	С умеренным и холодным климатом
<b>ТВ</b>	С влажным тропическим климатом
<b>ТС</b>	С сухим тропическим климатом
<b>Т</b>	Как с сухим, так и с влажным тропическим климатом
<b>О</b>	Общеклиматическое исполнение

**Место размещения** электрических двигателей при эксплуатации обозначается цифрой:

- 1** – на открытом воздухе;
- 2** – на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности несущественно отличаются от этих параметров на открытом воздухе (отсутствуют солнечная радиация и атмосферные осадки);
- 3** – в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий;
- 4** – в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями;
- 5** – в помещениях с повышенной влажностью.

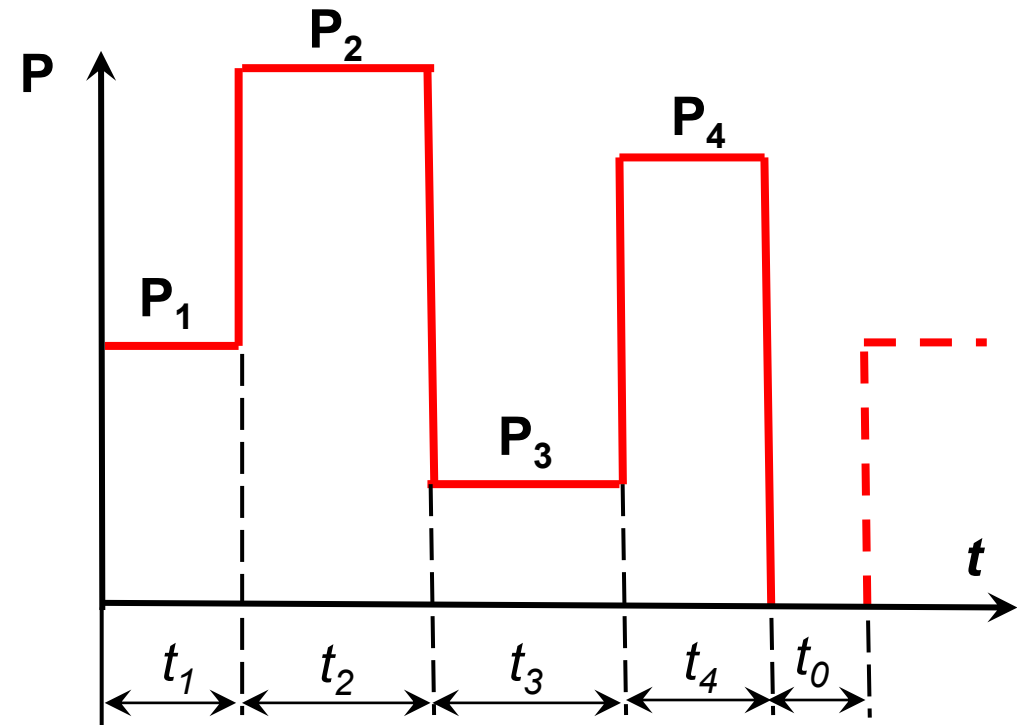
Пример обозначения типоразмера двигателя: **АИР132М8У3** – трехфазный асинхронный двигатель серии **АИР** (основное исполнение), степень защиты **IP44**, охлаждение **IC0141**, высота оси вращения **132** мм, условная длина статора **М**, число полюсов **8** (синхронная частота вращения 750 об/мин), климатические условия **У** – умеренный климат, место размещения при эксплуатации **3** – в закрытом помещении с естественной вентиляцией.

## Режимы работы электроприводов

**Режим работы электропривода** (двигателя) – это установленный порядок чередования периодов, характеризующихся величиной и продолжительностью нагрузки, отключений, торможения, пуска и реверса во время его работы.

Режимы работы двигателей электроприводов рабочих машин разнообразны и определяются технологическими процессами, реализуемыми этими рабочими машинами. Для иллюстрации этих режимов работы используют **нагрузочные диаграммы**.

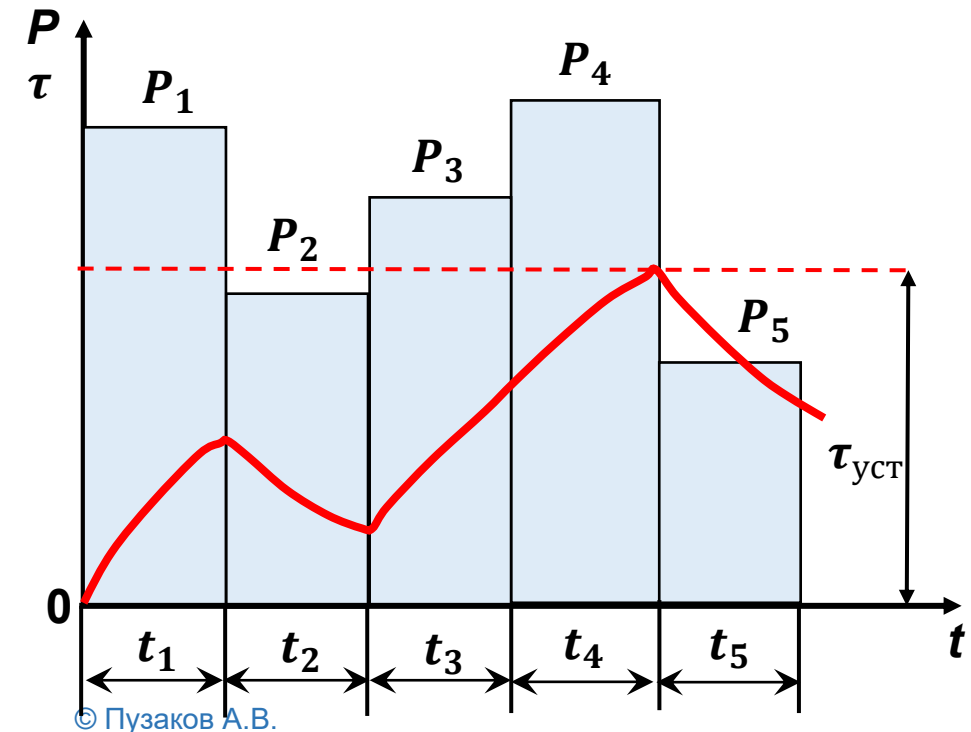
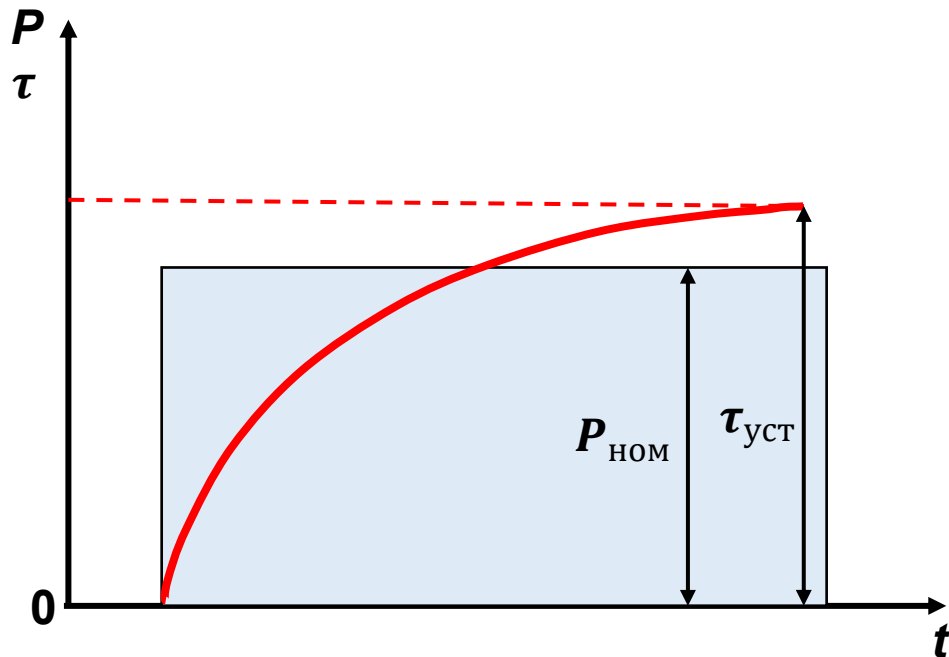
Такая диаграмма представляет собой зависимость параметра, характеризующего нагрузку приводного двигателя (полезной мощности  $P$ , момента  $M$  или силы потребляемого тока  $I$ ) от продолжительности  $t$  отдельных циклов, составляющих работу электропривода в течение определенного периода времени.



## Продолжительный режим работы электропривода

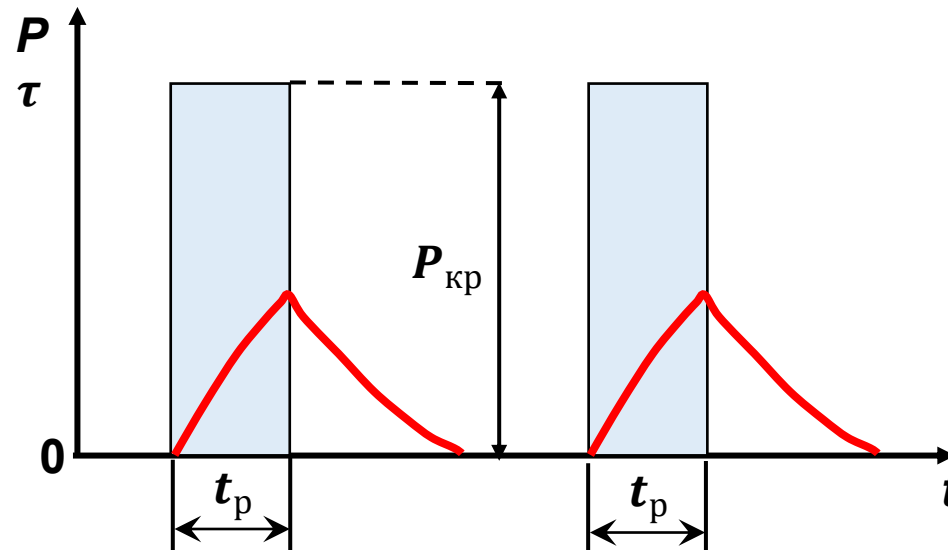
В соответствии с ГОСТ IEC 60034-1-2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики» установлено десять типовых режимов работы электроприводов. Наиболее характерными для промышленных электроприводов являются три режима.

**Продолжительный режим S1** – когда при неизменной нагрузке работа двигателя продолжается так долго, что температура перегрева всех его частей успевает достигнуть установившихся значений. Различают продолжительные режимы с *неизменной нагрузкой* и с *изменяющейся нагрузкой*.



**Кратковременный режим S2** – когда периоды работы двигателя с неизменной нагрузкой  $t_p$  чередуются с периодами отключения двигателя. При этом периоды нагрузки двигателя  $t_p$  настолько кратковременны, что температура нагрева всех частей двигателя не достигает установившихся значений, а периоды отключения двигателя настолько продолжительны, что все части двигателя успевают охладиться до температуры окружающей среды.

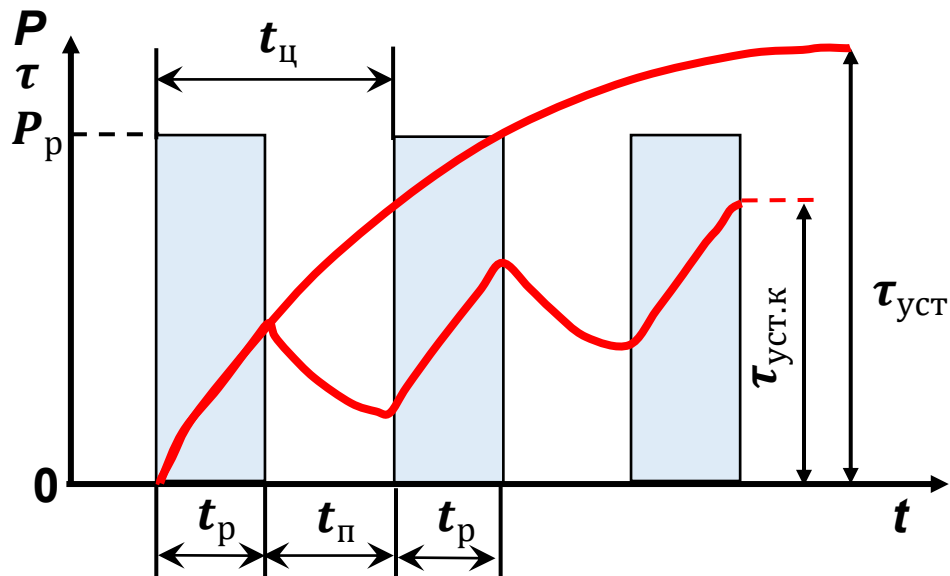
Стандартом установлена длительность периодов нагрузки 10; 30; 60 и 90 мин. В условном обозначении кратковременного режима указывается продолжительность периода нагрузки, например **S2 – 30 мин.**



# Повторно-кратковременный режим работы электропривода

**Повторно-кратковременный режим S3** – когда кратковременные периоды работы двигателя  $t_p$  чередуются с периодами отключения двигателя (паузами)  $t_n$ , причем за период нагрузки превышение температуры всех частей двигателя не успевает достигнуть установившихся значений, а за время паузы части двигателя не успевают охладиться до температуры окружающей среды. Общее время работы двигателя в повторно-кратковременном режиме разделяется на периодически повторяющиеся циклы продолжительностью  $t_{\text{ц}} = t_p + t_n$ .

При повторно-кратковременном режиме график нагревания двигателя имеет вид пилообразной кривой. Установившееся значение температуры перегрева  $\tau_{\text{уст.к}}$ .



При этом продолжительность цикла не должна превышать 10 мин. Если  $t_{\text{ц}} > 10$  мин, то режим считают продолжительным.

Повторно-кратковременный режим характеризуется **относительной продолжительностью включения, %:**

$$\text{ПВ} = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%$$

Действующим стандартом предусмотрены номинальные повторно-кратковременные режимы с ПВ 15, 25, 40 и 60% (для продолжительного режима ПВ = 100%).

В условном обозначении повторно-кратковременного режима указывают величину ПВ, например **S3 - 40%**.

## Другие режимы работы электропривода

Помимо рассмотренных трех основных режимов стандартом предусмотрены еще *семь* дополнительных:

- **повторно-кратковременный режим S4** с частыми пусками, с числом включений в час 30, 60, 120 или 240;
- **повторно-кратковременный режим S5** с частыми пусками и электрическим торможением в конце каждого цикла;
- **непрерывный периодический режим с кратковременной нагрузкой S6** и работой на холостом ходу;
- **непрерывный периодический режим с электрическим торможением S7** с частыми пусками, реверсами и электрическим торможением;
- **непрерывный периодический режим с взаимозависимыми изменениями нагрузки и частоты вращения S8** с двумя и более разными частотами вращения;
- **режим с неперiodическими изменениями нагрузки и частоты вращения S9**;
- **режим с дискретными постоянными нагрузками и частотами вращения S10**.

# Расчет мощности электродвигателя для работы в продолжительном режиме S1

Мощность электродвигателя при постоянной длительной нагрузке определяют по формуле:

$$P = \frac{P_1}{\eta_M \cdot \eta_{\Pi}}$$

где  $P_1$  – нагрузка приводимой машины, кВт (задана или рассчитана по производительности рабочего механизма);  $\eta_M, \eta_{\Pi}$  – КПД соответственно машины и передачи

Номинальную мощность двигателя для продолжительного режима работы выбирают в соответствии с выражением  $P_H \geq P$ . При работе электропривода с длительной переменной нагрузкой мощность электродвигателя определяют методом **средних потерь** или **эквивалентных величин**.

Метод средних потерь является наиболее точным и универсальным из косвенных методов. Он состоит в определении средних потерь мощности за цикл работы двигателя и сопоставлении их с номинальными потерями мощности.

Нагрев двигателя будет допустимым при условии

$$\Delta P_{\text{ср}} \leq \Delta P_H$$

Если на отдельных участках цикла нагрузка постоянна, средние потери определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

Номинальные потери мощности двигателя определяют, используя каталожные данные по формуле

$$\Delta P_H = \frac{P_H \cdot (1 - \eta_H)}{\eta_H}$$

# Расчет мощности электродвигателя для работы в продолжительном режиме S1

**Метод эквивалентного тока**, который основан на замене изменяющегося во времени тока нагрузки двигателя неизменным эквивалентным током

Предполагается, что эквивалентный ток создает в двигателе такие же потери, что и фактический ток нагрузки. Рассчитав эквивалентный ток, по каталогу выбирают двигатель, номинальный ток которого равен или несколько больше эквивалентного тока.

**Метод эквивалентного момента** можно использовать, если известен график изменения момента двигателя во времени  $M(t)$ , при этом должно выполняться условие – постоянство магнитного потока электродвигателя во всем цикле работы.

**Метод эквивалентной мощности** используют, если известен график изменения мощности во времени

Расчет требуемой мощности двигателя методом эквивалентных величин менее трудоемок по сравнению с методом средних потерь, но уступает ему в точности.

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum I_x^2 \cdot t_x}{\sum t_x}}$$

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum M_x^2 \cdot t_x}{\sum t_x}}$$

$$P_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum P_x^2 \cdot t_x}{\sum t_x}}$$

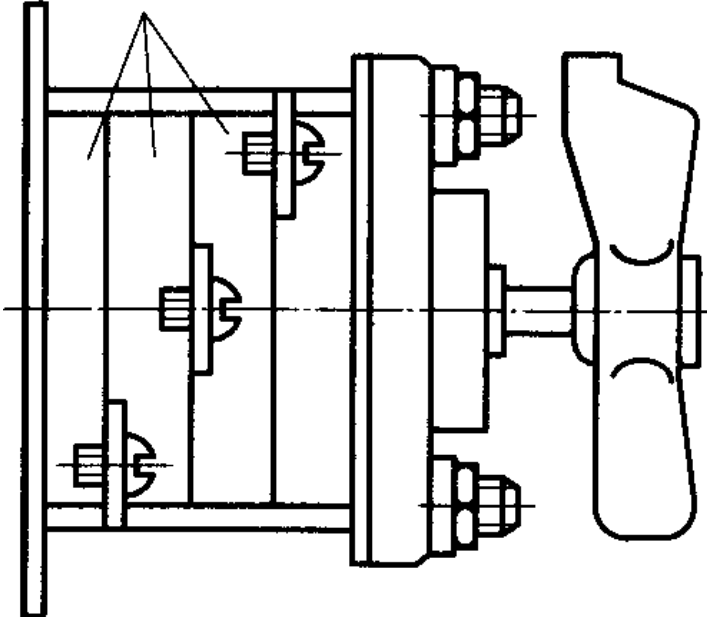
## Аппаратура управления электроприводами

**Коммутация** – это изменение соединений в электрической цепи: включение, отключение и переключение ее составляющих частей посредством коммутирующих устройств – рубильников, выключателей, переключателей, командоаппаратов, реле, контакторов, пускателей и т.п.

В зависимости от напряжения электрической сети коммутирующие устройства подразделяют на устройства **низкого** (до 1000 В) и **высокого** (более 1000 В) напряжений.

Коммутирующие устройства бывают *ручными* и *автоматическими*. К **ручным** относятся коммутирующие устройства, управляемые оператором: рубильники, переключатели, пакетные выключатели (переключатели), кнопки, контроллеры.

Пакеты

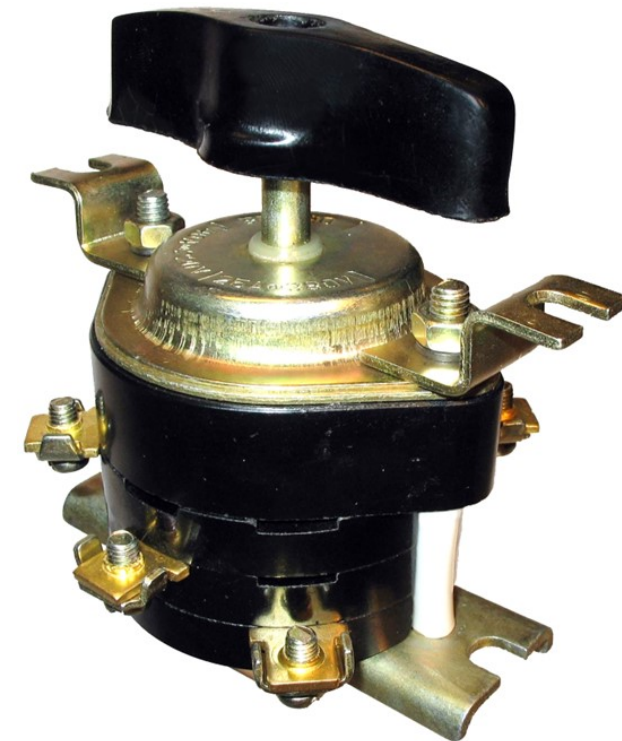


**Пакетные выключатели.** Такие выключатели предназначены для одновременного включения и отключения вручную нескольких цепей. Их набирают из неподвижных соосно-расположенных колец (*пакетов*) из электроизоляционного материала, внутри каждого из которых устанавливают коммутирующее устройство, связанное с общим валом.

SA

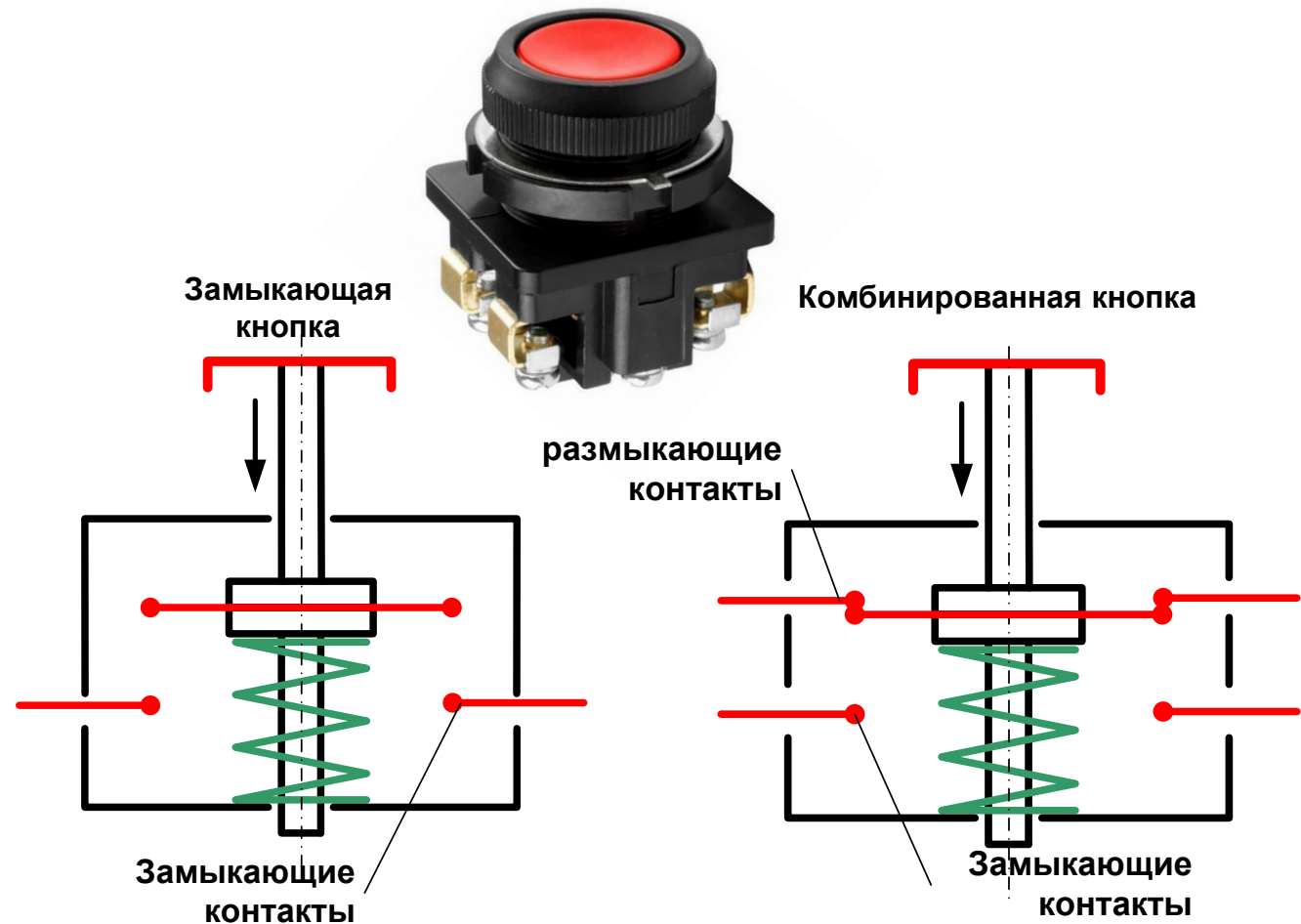
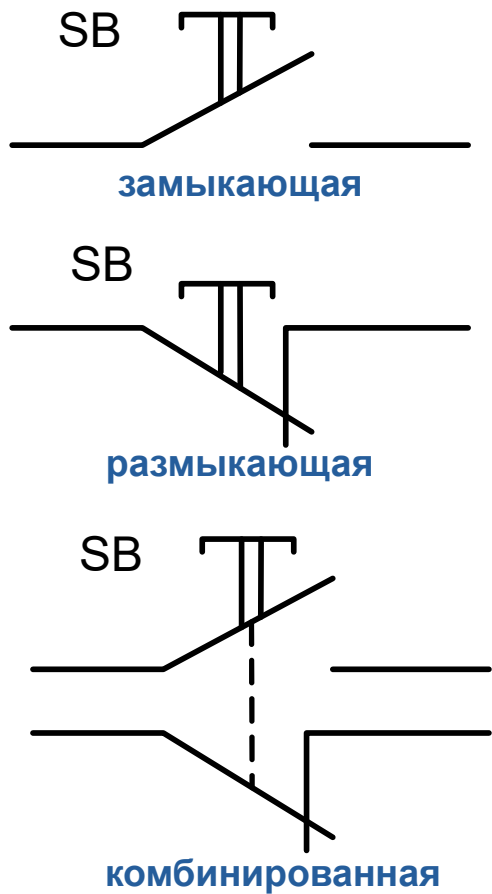


УГО выключателя

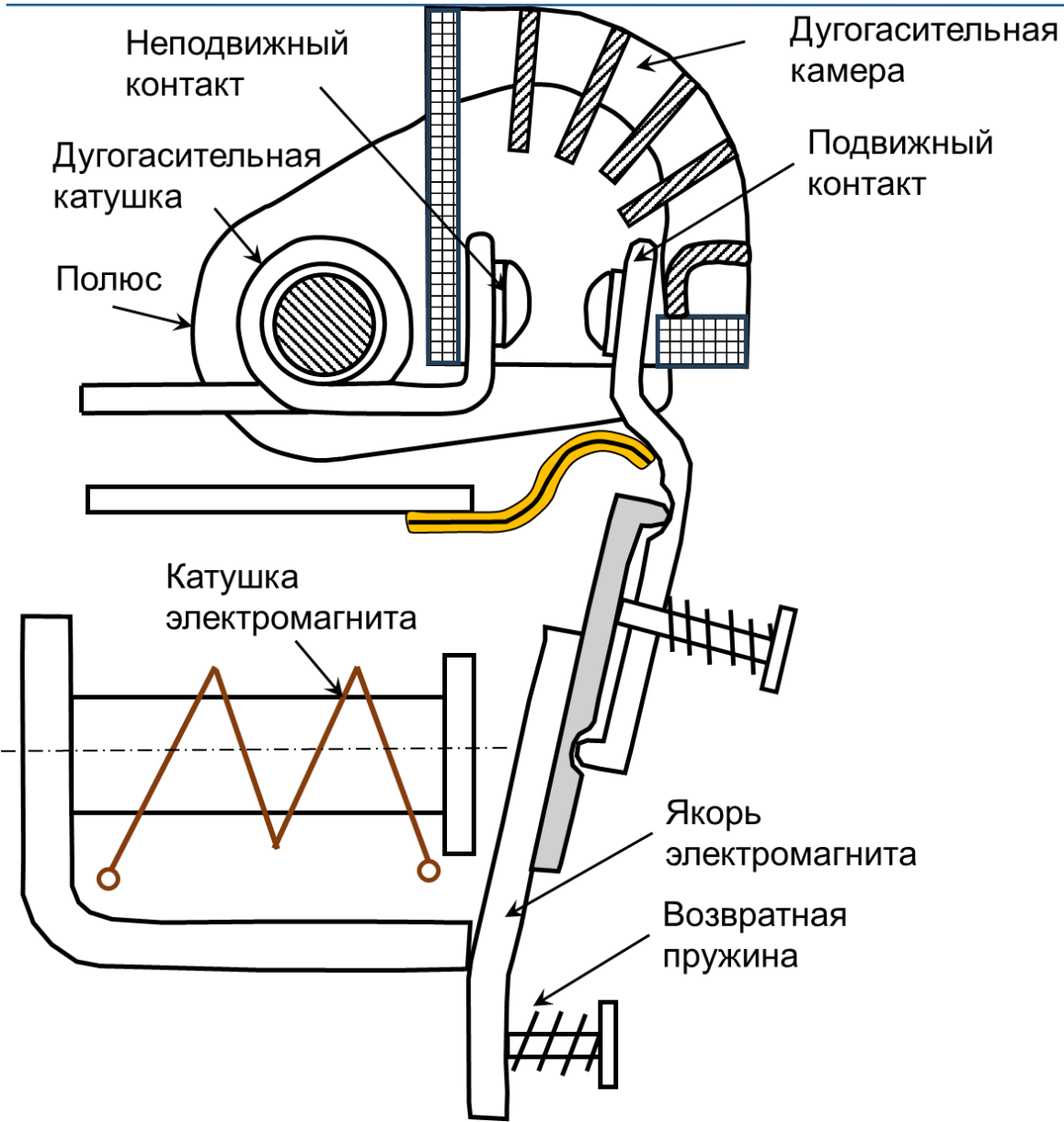


# Аппаратура управления электроприводами

**Кнопки управления.** Кнопки применяют для дистанционного управления электрическими аппаратами. Они могут выполняться как с самовозвратом в исходное положение, так и без него. Несколько кнопок, конструктивно оформленные в одном корпусе, образуют **кнопочную станцию** (кнопочный пост).



# Устройство и принцип работы контактора постоянного тока



**Контактор** представляет собой электромагнитный выключатель дистанционного действия, срабатывающий при замыкании или размыкании цепи оперативного тока.

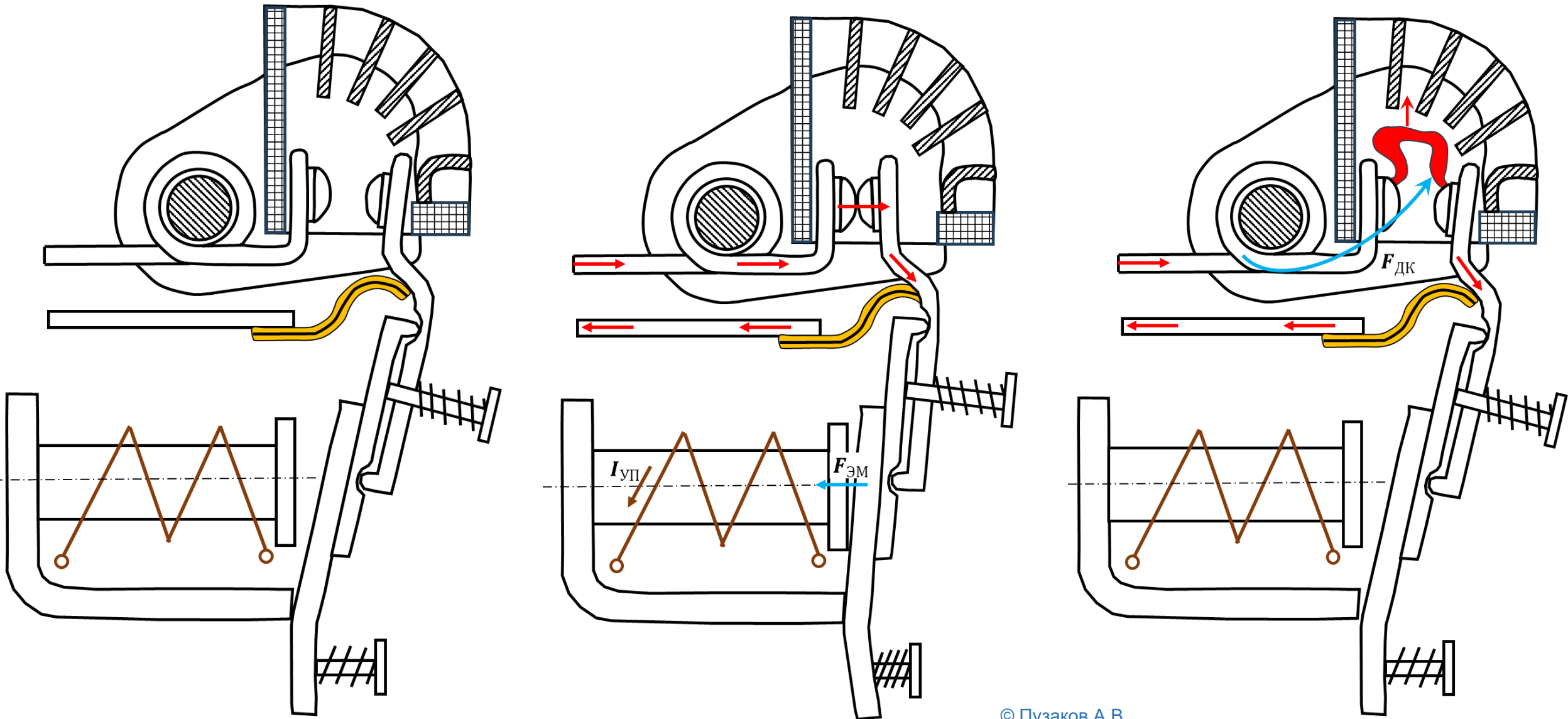
Он применяется для управления приемниками электроэнергии достаточно большой мощности – крупными электродвигателями, нагревательными устройствами и т. п.

При отсутствии тока управления в катушке подвижная часть контактора под действием возвратной пружины находится в разомкнутом положении.

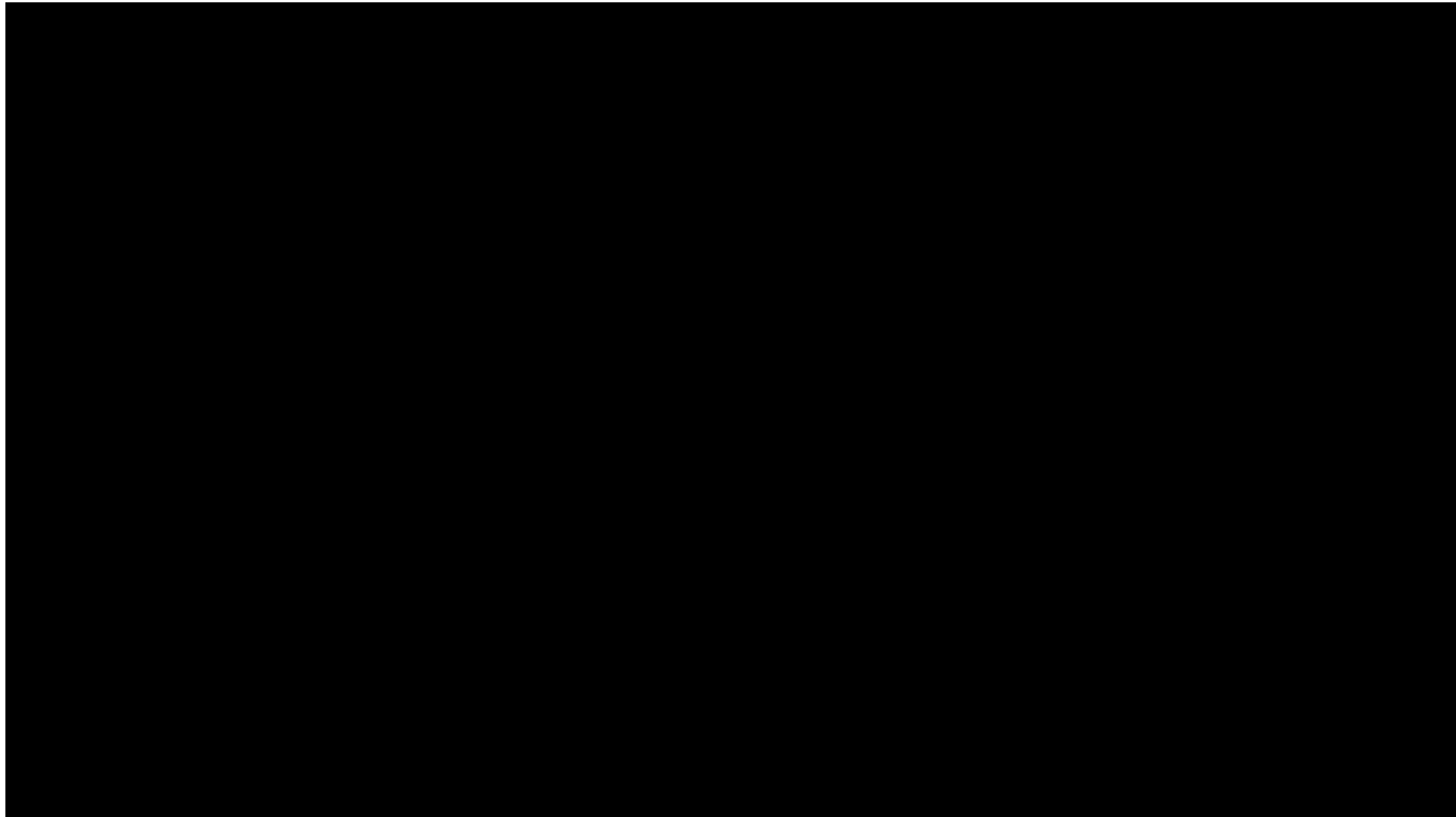
Подача тока в катушку приводит к притягиванию якоря и замыканию контактов. Отключение катушки приводит к обратному движению якоря и подвижного контакта.

Возникающая при этом между контактами **электрическая дуга** гасится в дутьевой дугогасительной камере из асбоцемента. Для этого в цепь отключаемого тока включена последовательно дугогасительная катушка.

# Принцип работы контактора постоянного тока



## Принцип работы контактора постоянного тока

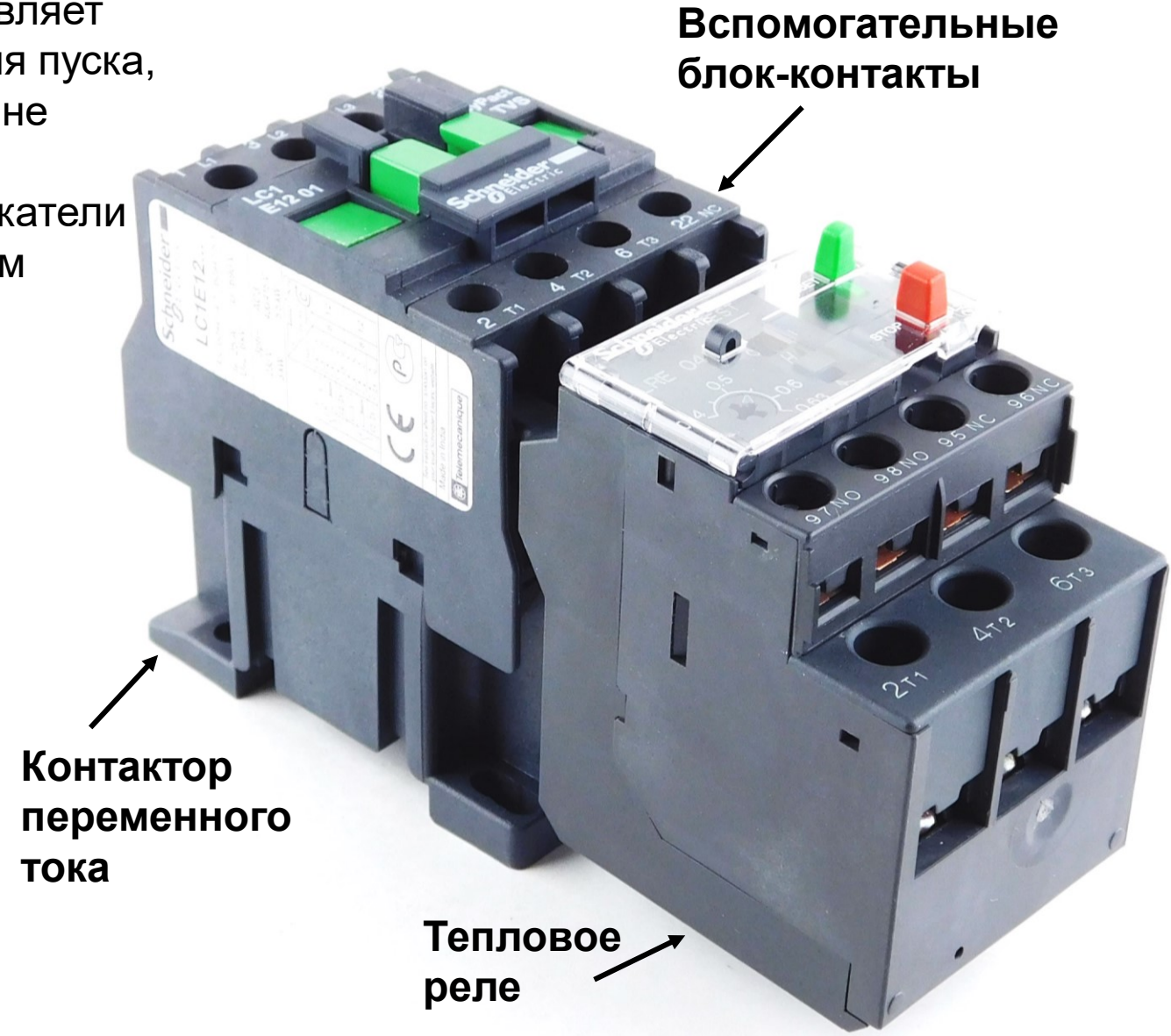
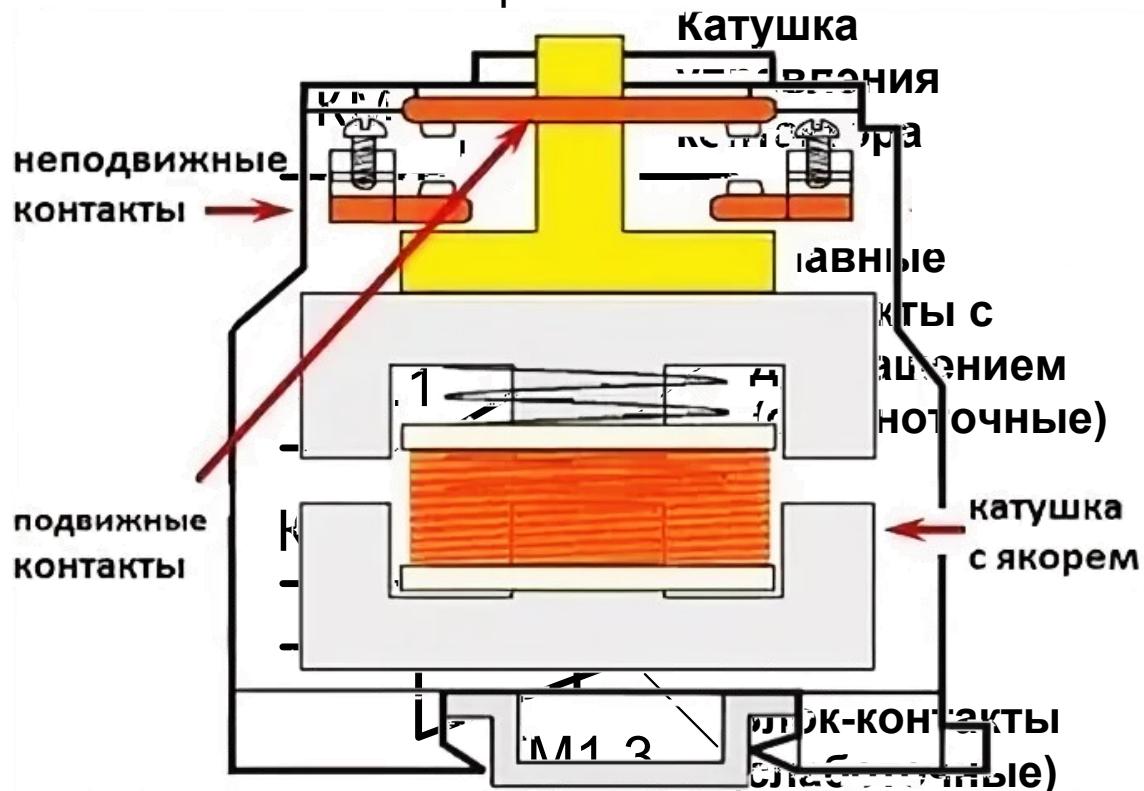


Видеофрагмент ([https://youtu.be/I\\_Qj-4wvXLQ](https://youtu.be/I_Qj-4wvXLQ))

# Устройство и принцип работы магнитного пускателя

**Магнитный пускатель** (далее пускатель) представляет собой коммутационный аппарат, предназначенный для пуска, остановки, реверса и защиты от токов перегрузки (но не токов короткого замыкания) электродвигателей.

Для выполнения защиты от токов перегрузки в пускатели встраивают **тепловые реле**, что является их главным отличием от контакторов.



# Устройство и принцип работы магнитного пускателя



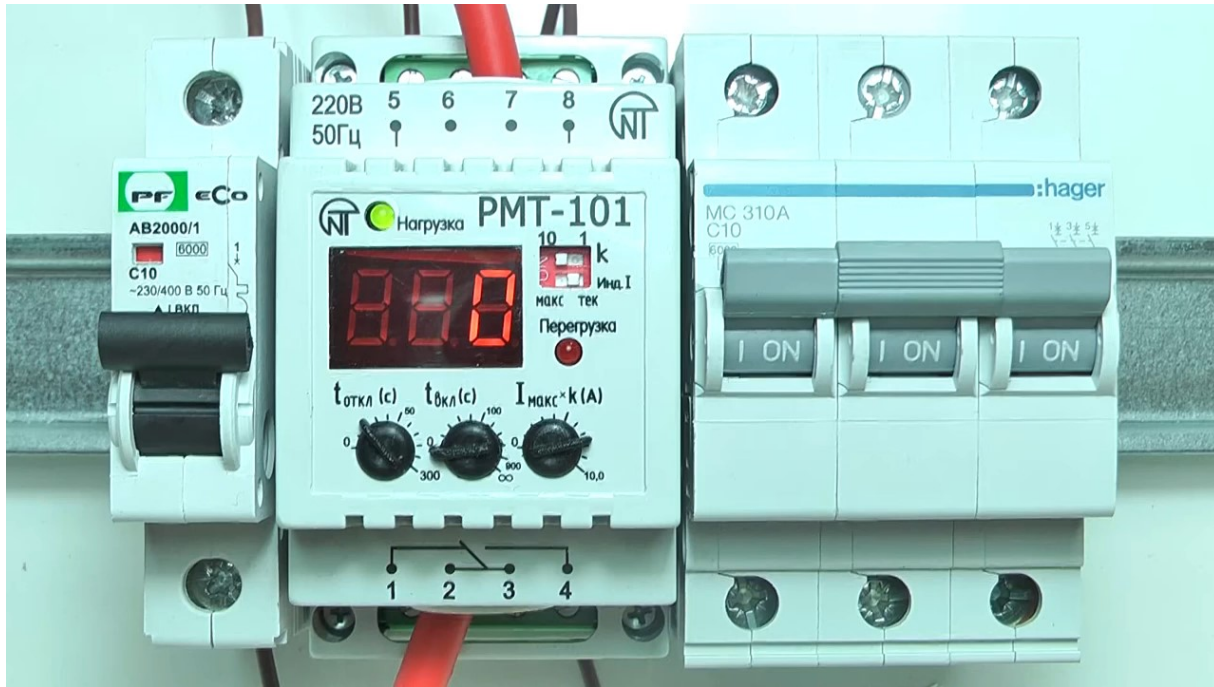
Видеофрагмент ([https://youtu.be/I\\_Qj-4wvXLQ](https://youtu.be/I_Qj-4wvXLQ))

# Устройства защиты электропривода

К устройствам защиты двигателей и других элементов электропривода относятся: реле максимального тока, реле напряжения, автоматические выключатели, тепловые реле и плавкие предохранители.

**Тепловое реле** – реле защиты замедленного действия (1-12 сек) от скачка тока недопустимой продолжительности.

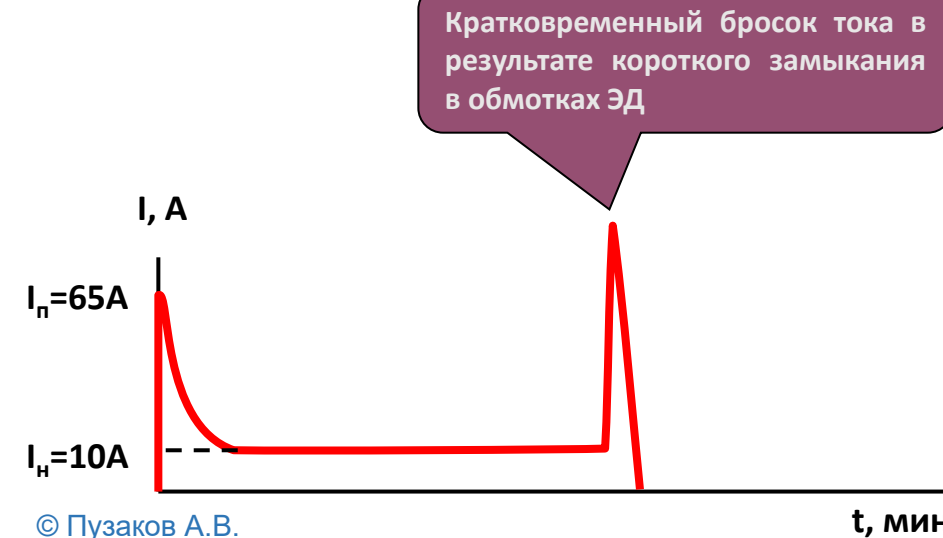
**Реле максимального тока** – реле защиты **мгновенного** действия (менее 1 сек) для защиты от скачка тока.



## Аварийная ситуация №1



## Аварийная ситуация №2



## Тепловое реле

При перегрузке электродвигателей повышается потребляемый ток, соответственно увеличивается его нагрев. Если двигатель перегревается – нарушается целостность изоляции обмоток, быстрее изнашиваются подшипники, они могут заклинить. Перегрузки могут возникать из-за перекоса фаз, затрудненного движения ротора, вследствие как повышенной механической нагрузки, так и проблем с подшипниками, при полном заклинивании вала двигателя и исполнительных механизмах.

**Тепловое реле** реагирует на возросший ток, и в зависимости от его величины разорвет цепь питания через какое-то время, тем самым сохранив обмотки двигателя целыми. После последующего устранения неисправности, при условии исправности статора, двигатель может продолжить работу.

Конструктивно стандартное тепловое реле представляет собой небольшой аппарат, который состоит из чувствительной биметаллической пластины, нагревательной спирали, рычажно-пружинной системы и электрических контактов.

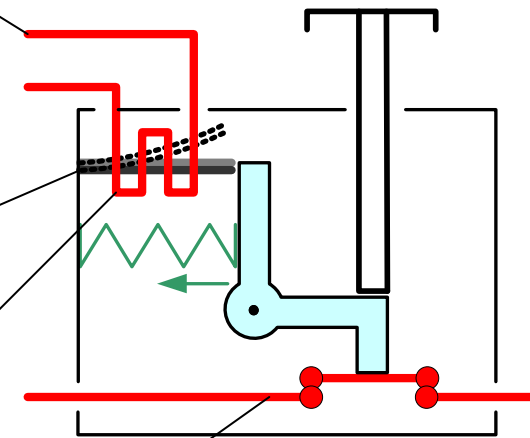
Биметаллическую пластину изготавливают из двух разнородных металлов, как правило, инвара и хромоникелевой стали, прочно соединенных вместе в процессе сварки. Один металл обладает большим температурным коэффициентом расширения, чем другой, поэтому нагреваются они с разной скоростью.

Главные контакты  
для подключения  
защищаемой цепи

Биметаллическая  
пластина

Нагревательный  
элемент с очень  
малым  
сопротивлением

Вспомогательные  
контакты  
(размыкающие)

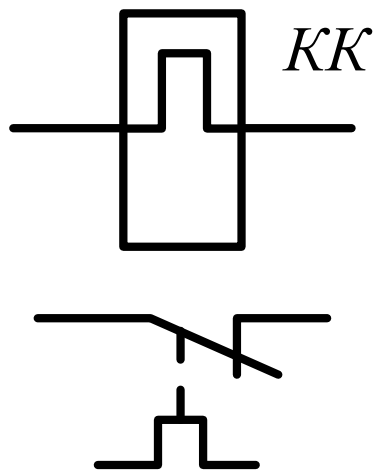


## Тепловое реле

### Твердотельные тепловые реле

представляют собой небольшие электронные устройства на три фазы, в конструкции которых нет подвижных частей. Функционируют по принципу вычисления средних значений температур двигателя, осуществляя для этого постоянный мониторинг рабочего и пускового тока. Отличаются невосприимчивостью к изменениям в окружающей среде, а потому используются во взрывоопасных зонах.

Длительная безотказная работа электрической машины обеспечивается срабатыванием теплового реле при 1,2...1,3 кратной перегрузке за время не более пяти минут.



1 – защитная крышка регулятора тока срабатывания; 2 – регулятор тока срабатывания; 3 – тестовая кнопка; 4 – переключатель режима повторного включения; 5 – стоповая кнопка; 6 – пломбировочный элемент; 7 – индикатор срабатывания; 8 – этикетка; 9 – втычной вывод главной цепи; 10 – клеммный вывод главной цепи; 11 – клеммный вывод вспомогательной цепи.

# Тепловое реле



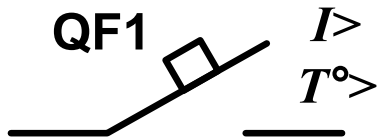
Видеофрагмент ([https://youtu.be/I\\_Qj-4wvXLQ](https://youtu.be/I_Qj-4wvXLQ))

# Автоматические выключатели

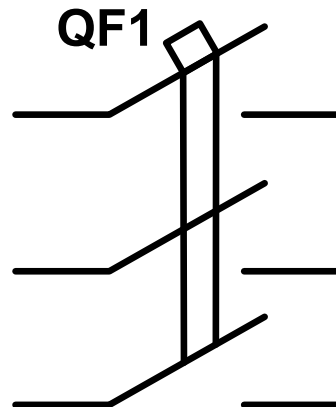
**Автоматические выключатели** – коммутационные аппараты для нечастой коммутации (6-30 вкл/сут) и защиты электрических цепей от тока перегрузки недопустимой продолжительности и тока короткого замыкания.

Электромагнитные расцепители максимального тока классифицируются ГОСТ 30325-95 «Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения» по следующим типам: А, В, С, D.

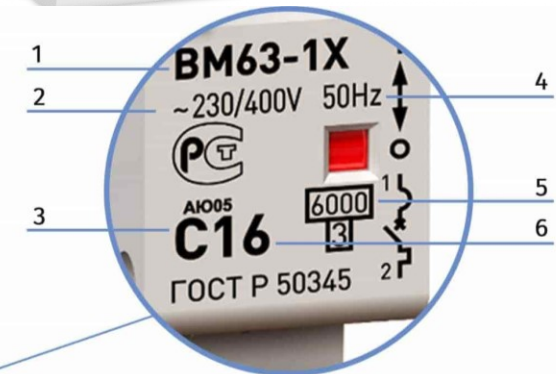
Автоматический выключатель с расцепителем **типа А** применяют для защиты от сверхтоков полупроводниковых приборов, **типа В** – для защиты электрических потребителей, не имеющих пускового тока, **типа С** – для защиты электрических потребителей с малым пусковым током, **типа D** – для защиты электрических потребителей с большим пусковым током.



Однополюсный автомат с электромагнитным и тепловым расцепителями



Трёхполюсный автомат



- 1 - Наименование и серия
- 2 - Номинальное напряжение
- 3 - Время-токовая характеристика
- 4 - Номинальная частота
- 5 - Номинальная отключающая способность
- 6 - Токковая нагрузка

## Устройство автоматического выключателя

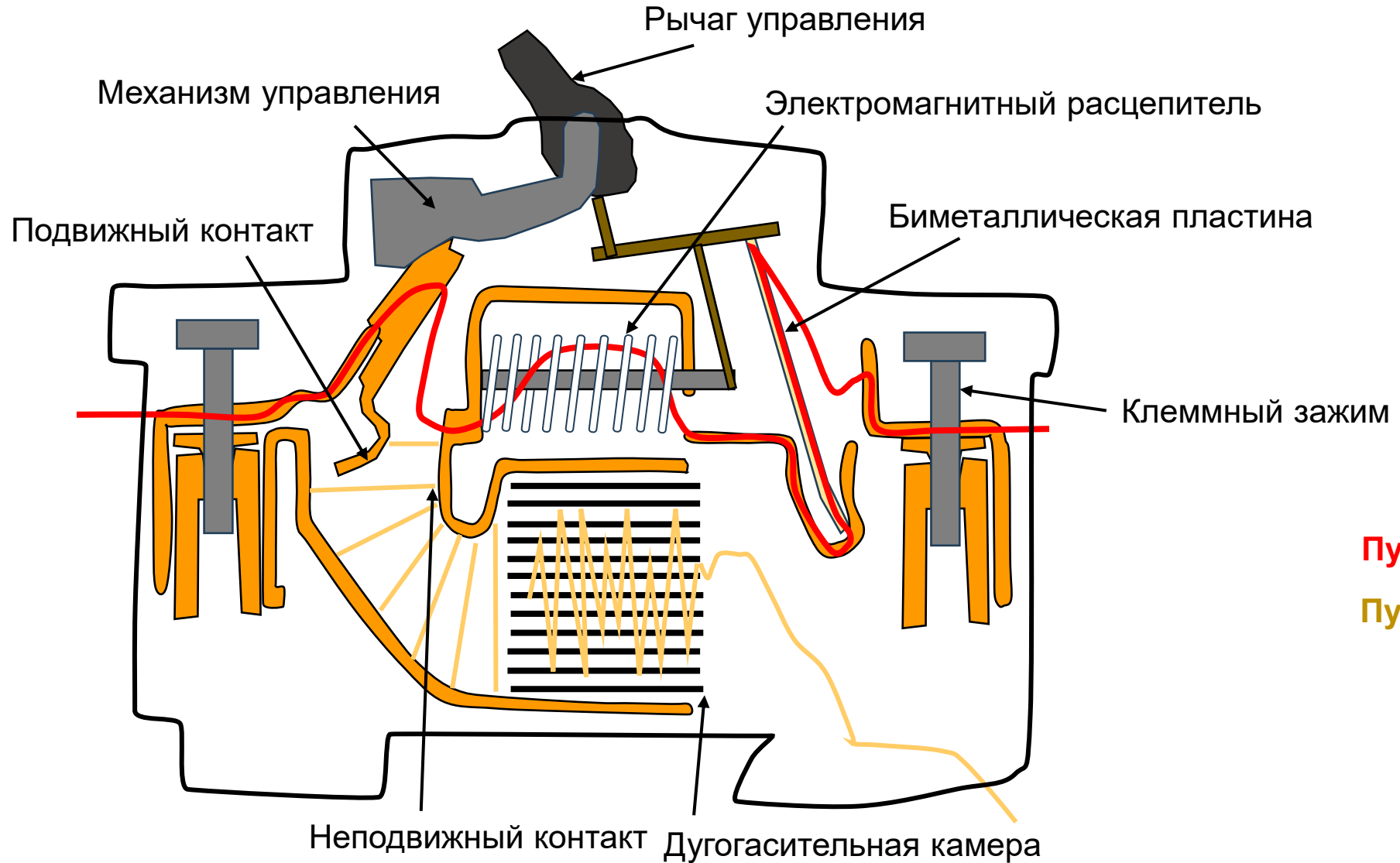
Когда автомат функционирует в нормальном режиме, то электрический ток при поднятой вверх рукоятке управления поступает к аппарату через подсоединенный к верхней клемме кабель питания. Ток идет к неподвижному контакту, а от него – к подвижному.

Затем по гибкому проводнику ток поступает на соленоид **электромагнитного расцепителя**. С него по второму гибкому проводнику ток идет к биметаллической пластине, входящей в **тепловой расцепитель**. Пройдя по пластине, ток через нижнюю клемму уходит в подключенную сеть.

При превышении током цепи, номинала устройства возникает перегрузка. Большой ток, проходя через биметаллическую пластину, оказывает на нее термическое воздействие, заставляя выгнуться в сторону отключающего элемента. При вступлении последнего в контакт с пластиной происходит срабатывание автомата, и подача тока в цепь прекращается. Таким образом, тепловая защита позволяет не допустить чрезмерного нагревания проводов, которое может привести к расплавлению изоляционного слоя и выходу проводки из строя.

**Электромагнитный расцепитель** предназначен для защиты сети от короткого замыкания и по принципу работы отличается от теплового. Под действием сверхтоков КЗ в соленоиде возникает мощное магнитное поле. Оно сдвигает в сторону сердечник катушки, который размыкает силовые контакты защитного устройства, воздействуя на механизм расцепителя. Питание линии прекращается, благодаря чему исчезает опасность возгорания проводки, а также разрушения замкнувшей установки и автоматического выключателя.

# Устройство автоматического выключателя



# Автоматические выключатели



Видеофрагмент ([https://youtu.be/I\\_Qj-4wvXLQ](https://youtu.be/I_Qj-4wvXLQ))

# Автоматические выключатели

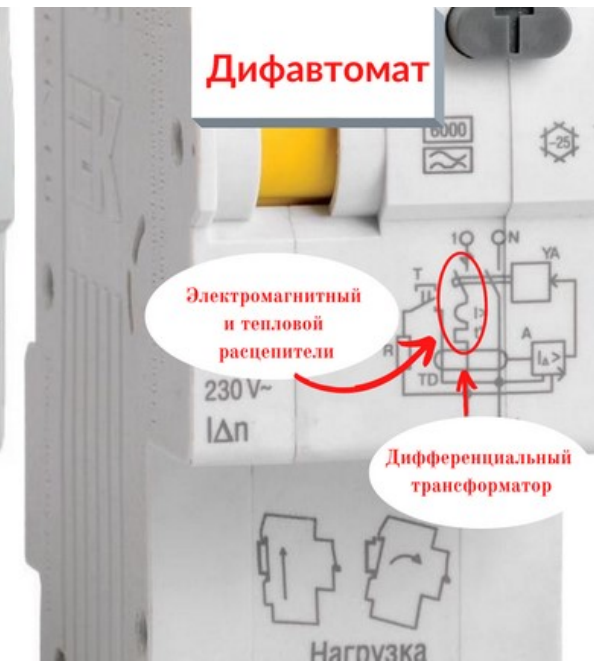
**Дифференциальный автомат**, или *автоматический выключатель дифференциального тока* (АВДТ) – аппарат, защищающий проводку и оборудование от сверхтоков и токов утечки. Его устанавливают в распределительных щитах жилых и общественных домов. С дифференциальным автоматом можно не бояться короткого замыкания, утечки тока, перегрузки сети.

**Устройство защитного отключения** (УЗО) – аппарат, защищающий электроприборы и проводку от токов утечки. Например, если случайно уронили фен в воду или взяли мокрыми руками провод с поврежденной изоляцией, УЗО уловит утечку тока, отключит напряжение во всей сети и спасет вас от удара током и пожара. Устройство устанавливается в щитке после автомата. Вместе эти два прибора действуют как дифавтомат.

**Дифавтомат**



**Автомат и УЗО**



# Автоматические выключатели



Видеофрагмент ([https://youtu.be/I\\_Qj-4wvXLQ](https://youtu.be/I_Qj-4wvXLQ))

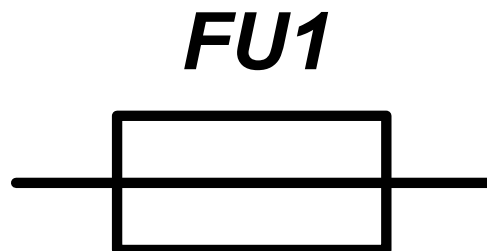
## Плавкие предохранители

**Плавкий предохранитель** – это простейшее устройство, разрывающее электрическую цепь, если в ней произойдет короткое замыкание и ток достигнет значения, достаточного для расплавления плавкой вставки. Предохранители предназначены для защиты двигателей либо другого электрооборудования и сетей от токов короткого замыкания. Предохранители не являются защитой при перегрузках, так как они срабатывают на ток перегрузки спустя значительное время, часто недопустимое для потребителя.

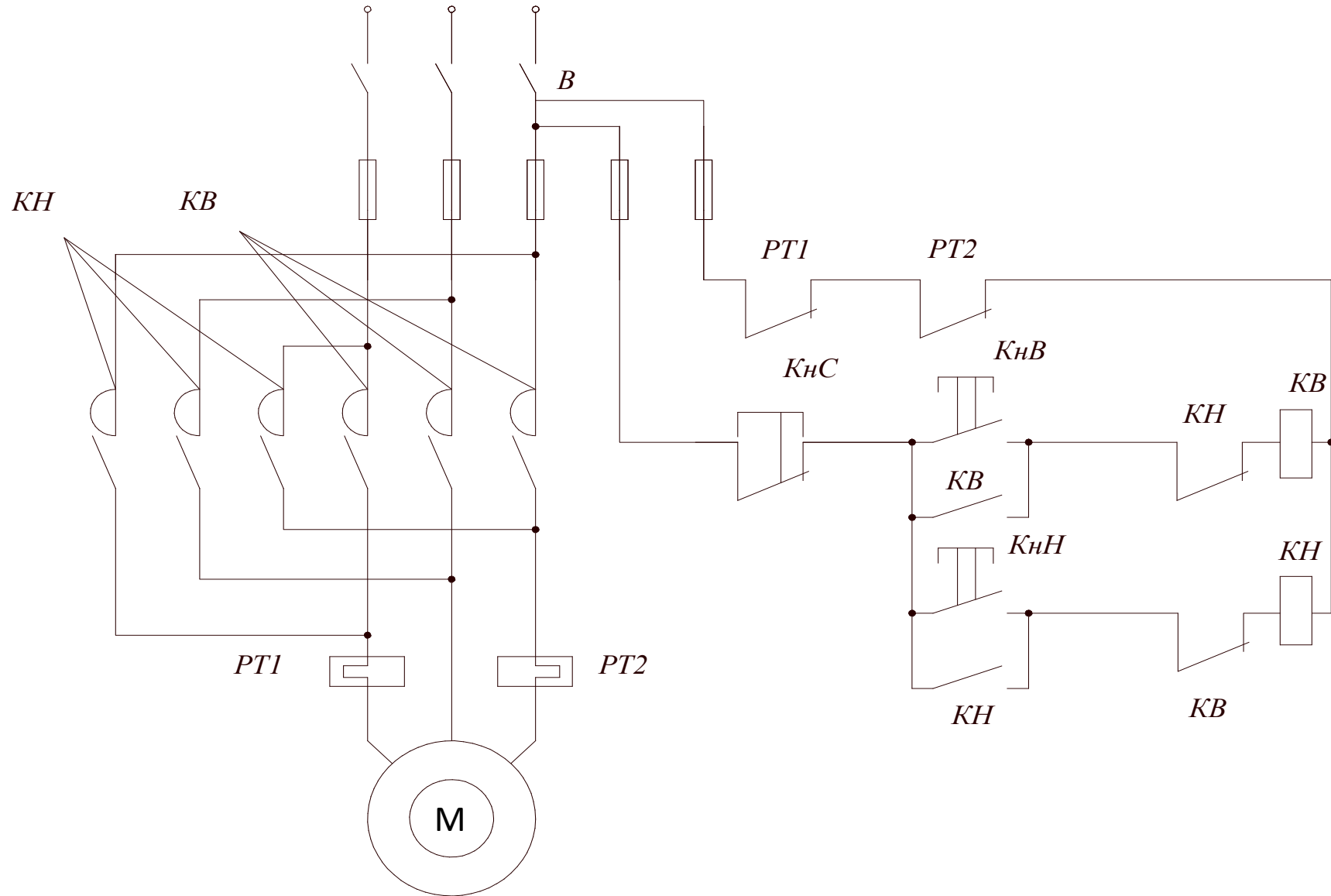
В месте расплава вставки появляется электрическая дуга. Для быстрого гашения этой дуги плавкую вставку помещают в кварцевый песок. Электрическая дуга, возникшая в среде песка, разбивается на множество мелких дуг и быстро гаснет.

Предохранитель типа ПР-2 разборный трубчатый, без наполнителя, состоящий из цилиндрической керамической втулки, калиброванной плавкой вставки из легкоплавкого металла (обычно цинк) и двух ножей, вставляемых в зажимы.

Предохранители на схемах



# Схема реверсивного пуска асинхронного двигателя



Все виды потерь в двигателе преобразуются в теплоту, которая частично идет на нагревание двигателя, а частично отдается в окружающую среду. Условно принято считать, что нагрев происходит равномерно по всему объему двигателя, а рассеивание теплоты – равномерно со всей его поверхности.

В начальный период работы двигатель имеет температуру нагрева, не отличающуюся от температуры окружающей среды, т.е. температура перегрева  $\tau = 0$ . В этом случае рассеяния теплоты в окружающую среду не происходит, т.е.  $S\lambda\tau dt = 0$ , и вся выделяемая в двигателе теплота идет на его нагревание. Затем, когда температура нагрева двигателя начинает превышать температуру окружающей среды, часть теплоты, выделяемой в двигателе, начинает рассеиваться в окружающую среду.

Когда температура нагрева двигателя достигает установившегося значения  $\tau_{уст} = \text{const}$ , вся выделяемая в двигателе теплота рассеивается в окружающую среду, т.е. наступает режим **теплового равновесия**.

Потери энергии электродвигателя вызывают его **нагрев**. Допустимый нагрев двигателя определяется **нагревостойкостью** применяемых изоляционных материалов. Изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, делятся на семь **классов нагревостойкости**.

В современных электродвигателях применяют изоляцию трех наиболее нагревостойких классов: В, F и H. В процессе работы двигателя изоляция обмоток нагревается неравномерно, при этом измерение температуры в наиболее нагреваемых точках изоляции технически невозможно. Поэтому, согласно действующему стандарту, предельные температуры нагревания обмоток принимают ниже предельно допустимых значений изоляции соответствующего класса нагревостойкости.

При тепловых расчетах принимается стандартная температура окружающей среды, равная 40 °С, которой соответствует номинальная мощность электродвигателя, указанная на его табличке.

Степень защиты электродвигателей обозначается двумя буквами IP – начальные буквы слов International protection и двумя цифрами. Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь двигателя твердых тел. Вторая цифра обозначает степень защиты от попадания внутрь двигателя воды.

Способы охлаждения двигателей определены стандартом. Обозначение этих способов состоит из начальных букв IC слов International Cooling и ряда букв и цифр, обозначающих способ охлаждения. Первой идет цифра, обозначающая устройство системы охлаждения, которая применяется как для первичного, так и для вторичного контура. Каждый контур обозначается буквой, характеризующей хладагент. После этого следует цифра, обозначающая способ его перемещения.

Для обозначения конструктивного исполнения по способу монтажа применяют латинские буквы IM (от англ. International Mounting) и следующие за ними четыре цифры. Первая цифра показывает группу конструктивного исполнения (на лапах, без лап, с фланцем и т.д.), вторая и третья – способы монтажа, четвертая – исполнение конца вала (цилиндрический, конический и др.).

Режим работы электропривода (двигателя) – это установленный порядок чередования периодов, характеризующихся величиной и продолжительностью нагрузки, отключений, торможения, пуска и реверса во время его работы.

В соответствии с ГОСТ установлено десять типовых режимов работы электроприводов. Наиболее характерными для промышленных электроприводов являются три режима: продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный.

Коммутация – это изменение соединений в электрической цепи: включение, отключение и переключение ее составляющих частей посредством коммутирующих устройств – рубильников, выключателей, переключателей, командоаппаратов, реле, контакторов, пускателей и т.п.

В зависимости от напряжения электрической сети коммутирующие устройства подразделяют на устройства низкого (до 1000 В) и высокого (более 1000 В) напряжений.

Коммутирующие устройства бывают ручными и автоматическими. К ручным относятся коммутирующие устройства, управляемые оператором: рубильники, переключатели, пакетные выключатели (переключатели), кнопки, контроллеры.

Контактор представляет собой электромагнитный выключатель дистанционного действия, срабатывающий при замыкании или размыкании цепи оперативного тока. Он применяется для управления приемниками электроэнергии достаточно большой мощности – крупными электродвигателями, нагревательными устройствами и т. п.

Магнитный пускатель представляет собой коммутационный аппарат, предназначенный для пуска, остановки, реверса и защиты от токов перегрузки (но не токов короткого замыкания) электродвигателей.

К устройствам защиты двигателей и других элементов электропривода относятся: реле максимального тока, реле напряжения, автоматические выключатели, тепловые реле и плавкие предохранители.

Автоматические выключатели – коммутационные аппараты для нечастой коммутации (6-30 вкл/сут) и защиты электрических цепей от тока перегрузки недопустимой продолжительности и тока короткого замыкания.

Плавкий предохранитель – это простейшее устройство, разрывающее электрическую цепь, если в ней произойдет короткое замыкание и ток достигнет значения, достаточного для расплавления плавкой вставки.

# Вопросы для самоконтроля

1. Какие процессы протекают при нагревании и охлаждении электродвигателей?
2. Какие факторы влияют на величину перегрева?
3. Какой физический смысл имеет постоянная времени нагрева (охлаждения) электродвигателя?
4. Перечислите наиболее распространенные классы нагревостойкости изоляции.
5. Какая степень защиты электродвигателей наиболее распространена? Почему?
6. Охарактеризуйте способы охлаждения электродвигателей.
7. Охарактеризуйте способы монтажа электродвигателей.
8. Назовите условия эксплуатации электродвигателей и их маркировку.
9. Что называют нагрузочной диаграммой?
10. Чем отличаются типовые режимы работы электроприводов?
11. Охарактеризуйте продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный режимы работы.
12. Как рассчитывают мощность электродвигателя для работы в типовых режимах нагружения?
13. Какие приборы используются для коммутации в электроприводах постоянного и переменного тока?
14. Опишите принцип дугогашения в контакторах постоянного тока.
15. Какие приборы используются для защиты в электроприводах постоянного и переменного тока?
16. Опишите принцип работы теплового реле.
17. Как реализована тепловая и электромагнитная защита в автоматических выключателях?
18. Для чего используются плавкие предохранители? В чем их отличие от других методов защиты?

1. **Кацман М.М. Электрический привод: учебник.** – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 384 с.
2. **Базулина Т. Г. Основы электропривода: учеб. пособие / Т. Г. Базулина, Н. А. Равинский.** – Минск: РИПО, 2020. – 183 с. : ил.
3. **Лазута И.В. Основы электротехники и электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва.** – Омск : СибАДИ, 2018. – Режим доступа : <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd636.pdf>.
4. **Шандриков, А. С. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие / А.С. Шандриков.** – 3-е изд., испр. – Минск : РИПО, 2020. – 318 с.
5. **Прошин В.М. Электротехника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М. Прошин.** — 6-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 288 с.
6. **Общая электротехника и электроника: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Р.И. Екутеч, А.А. Паранук, В.А. Хрисониди – п. Яблоновский, Краснодар –** Издательство: Краснодарский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2019. – 371 с.