

# **Защитная аппаратура для сетей напряжением до 1 кВ**

# Классификация пуско-регулирующей и защитной аппаратуры

Главными функциями аппаратов управления и защиты являются:

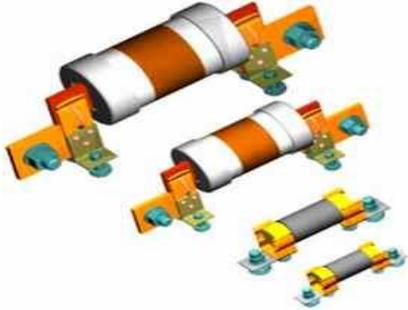
- включение и отключение электроустановок и сетей;
- защита электроустановок от перегрузок и токов короткого замыкания;
- регулирование числа оборотов электродвигателей;
- электрическое торможение электродвигателей;

В состав пуско-регулирующей и защитной аппаратуры входят:

- плавкие предохранители;
- кнопки управления;
- концевые и путевые выключатели;
- контакторы;
- магнитные пускатели;
- автоматические выключатели;

## Плавкие предохранители.

Плавкие предохранители применяются для защиты электроустановок от перегрузок и токов короткого замыкания.



Предохранители ПР



Предохранители СПО



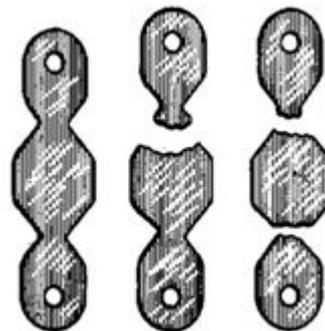
Предохранитель ПН-2

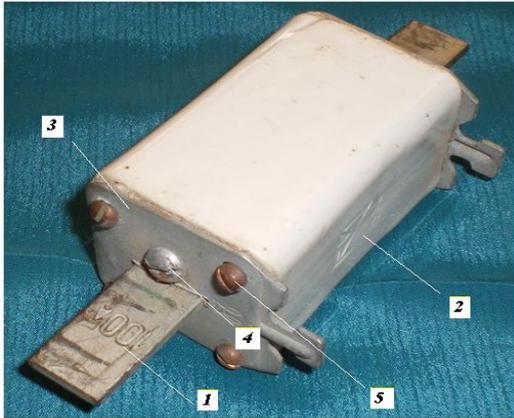
Номинальный ток предохранителя, указанный на нем, равен наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данной конструкции предохранителя.

Ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы, называют номинальным током плавкой вставки. Он может быть отличным от номинального тока самого предохранителя.

**Основным элементом предохранителя является плавкая вставка, которая сгорает (плавится) при значительном повышении тока в сети.**

**Вставку выполняют в виде пластинки с вырезами, уменьшающими ее сечение на отдельных участках. На этих суженных участках выделяется больше теплоты, чем на широких. При номинальном токе избыточная теплота вследствие теплопроводности материала вставки успевает распространиться к более широким частям, и вся вставка имеет практически одну температуру. При перегрузках ( $I \approx I_{\infty \max}$ ) нагрев суженных участков идет быстрее; так как только часть теплоты успевает отводиться к широким участкам. Плавкая вставка плавится в одном самом горячем месте. При коротком замыкании ( $I \gg I_{\infty}$ ) нагрев суженных участков идет настолько интенсивно, что практически отводом теплоты от них можно пренебречь. Плавкая вставка перегорает одновременно во всех или в нескольких суженных местах:**





- 1.контактный нож
- 2.фарфоровый корпус
- 3.крышка
- 4.болты контактной шайбы
- 5.болты крышки

Наиболее распространенными в сетях до 1000 В являются:

ПР -2 - предохранитель разборный ;

НПН – насыпной предохранитель неразборный;

ПН – 2 - предохранитель насыпной разборный .

Основные типы предохранителей имеют номинальные токи от 15 до 1000 А.

По своему конструктивному выполнению делятся на две группы:

*- с наполнителем (ПН – 2 , НПН ) – наполнены мелкозернистым кварцевым песком;*

*-без наполнителя (ПР -2).*

Плавкие вставки делят на:

**-Инерционные** (способны выдерживать значительные кратковременные перегрузки током). К ним относятся все установочные предохранители с винтовой резьбой и свинцовым токопроводящим мостиком.

Номинальный ток плавкой вставки определяется только по величине длительно расчетного тока линии:

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{дл. расч.}}$$

**-Безынерционные** (с ограниченной способностью к перегрузкам). К ним относятся трубчатые с медным токопроводящим мостиком.

Номинальный ток плавкой вставки определяется:

1. по величине длительно расчетного тока линии:

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{дл. расч.}}$$

2. по величине пускового тока ЭП:

а) при защите ответвления, идущего к одиночному двигателю с нечастыми пусками и с длительностью пускового периода не более 2 – 2,5 ч (ЭД металлообрабатывающих станков, вентиляторов, насосов)

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{пуск.}} / 2,5$$

$\alpha = 2,5$  – легкий пуск

$\alpha = 1,6$  – тяжелый пуск

б) при защите ответвления, идущего к двигателю с частыми пусками или большой длительностью пускового периода (ЭД кранов, дробилок)

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{пуск.}} / (1,6 \div 2)$$

в) при защите магистрали, питающей силовую или смешанную нагрузку

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{кр.}} / 2,5$$

$I_{\text{кр.}}$  – максимальный кратковременный ток линии

г) при защите ЭД ответственных механизмов независимо от условий пуска

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{пуск.}} / 1,6$$

В формулах  $I_{\text{пуск.}}$  – пусковой ток электродвигателя, А

$I_{\text{кр.}}$  – максимальный кратковременный ток линии. А

$$I_{\text{кр.}} = I'_{\text{пуск}} + I'_{\text{дл}}$$

$I'_{\text{пуск}}$  пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;

$I'_{\text{дл}}$  длительный расчетный ток, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электроприемников.

**Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:**

$$I_{\text{я.вст}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{н}} \sqrt{ПВ},$$

$I_{\text{н}}$  – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

**Пример. Рассчитать ток и выбрать плавкий предохранитель для защиты линии, по которой питается электроприемник (электродвигатель) со следующими данными:**

$$P_{\text{н}} = 18,5 \text{ кВт};$$

$$\cos \varphi_{\text{н}} = 0,82;$$

$$\eta_{\text{н}} = 87\%;$$

$$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} = 7;$$

$$U_{\text{н}} = 380 \text{ В}.$$

**Решение.**

**Определяем длительный расчетный ток линии:**

$$I_p = i_{II} = \frac{P_{II}}{\sqrt{3}U_{II} \cos\varphi_{II} \eta_{II}}; \quad I_p = \frac{18,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 39,6 \text{ А.}$$

**Пусковой ток:**

$$I_{II} = i_{II} \frac{I_{II}}{I_{II}}; \quad I_{II} = 39,6 \cdot 7 = 277,2 \text{ А.}$$

**По длительному току**

$$I_{II, \text{ВСТ}} \geq 39,6 \text{ А.}$$

## По кратковременному току с учетом условий пуска

$$I_{\text{вс.}} \geq I_{\text{пуск.}} / 2,5$$

$$I_{\text{п.вст}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{\alpha} \geq \frac{277,2}{2,5} \geq 110,9 \text{ А.}$$

Технические данные предохранителей с закрытыми патронами до 1000 В

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный ток отключения, кА	
		предохранителя	плавкой вставки	~380 В	—220 В
НПН2-60	500	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60	10	—
ПН2-100	~380	100	30, 40, 50, 80, 100	100	100
ПН2-250		250	80, 100, 120, 150, 200, 250	100	100
ПН2-400	—220	400	200, 250, 315, 355, 400	40	60
ПН2-600		600	300, 400, 500, 600	25	40
ПР-2	~220 —440	15	6, 10, 15	8	—
		60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4,5	—
		100	60, 80, 100	—	—
ПР-2	~500 —440	200	100, 125, 160, 200	11	10
		350	200, 225, 260, 300, 350	13	11
		600	350, 430, 500, 600	23	20
		1000	600, 700, 850, 1000	20	20

**Выбираем предохранитель ПН2-250 с  $I_{\text{п.вст}} = 120 \text{ А}$ .**

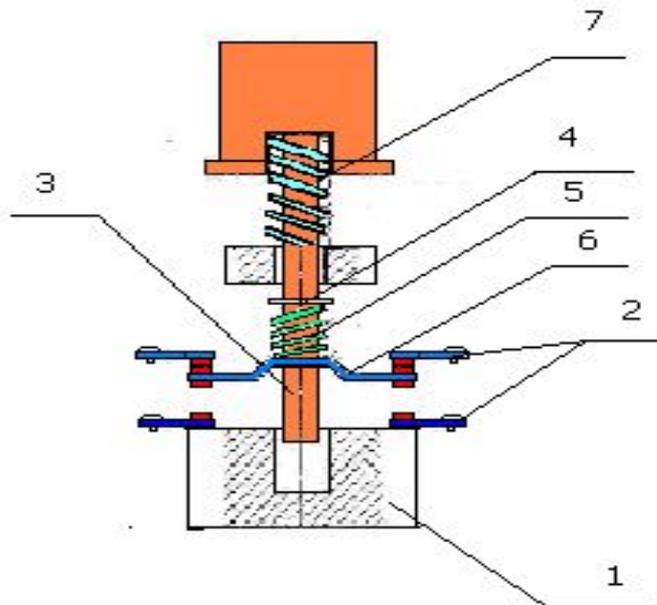
## Кнопки управления.

Кнопки управления предназначены для замыкания и размыкания цепей дистанционного управления электродвигателями.

Комплект из нескольких кнопок "ПУСК" и "СТОП", объединенных в одном корпусе называется кнопочной станцией.

Общими элементами кнопок управления различных типов являются

- 1-колодка;**
- 2-неподвижный контакт;**
- 3-толкатель;**
- 4-штифт;**
- 5-контактная пружина;**
- 6-мостик с контактами;**
- 7-возвратная пружина;**



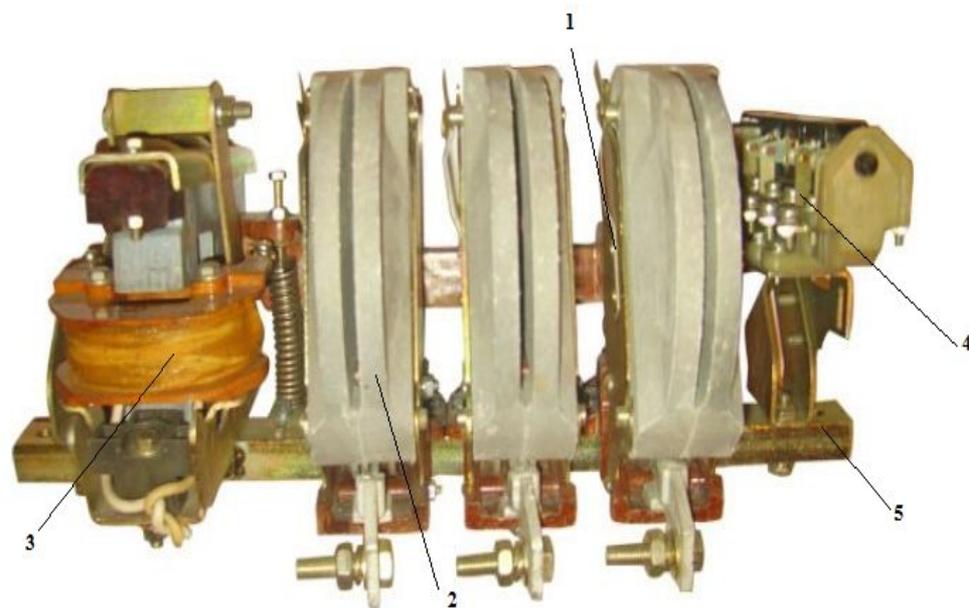
## Концевые и путевые выключатели.

Концевые и путевые выключатели применяются для переключения цепей управления по мере передвижения элементов механизмов и для автоматического отключения механизма в конце его рабочего пути.



## Контакторы.

**Контактор представляет собой аппарат электромагнитного действия для дистанционного управления электромашинами и аппаратами.**



5 –металлическая изолированная рейка

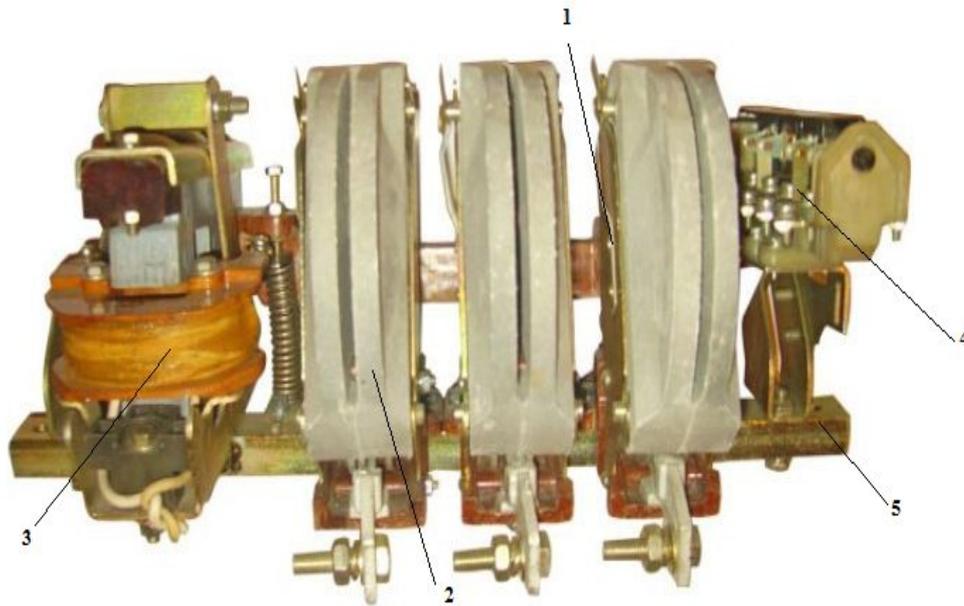
Контакторы КТ, КТП, КПВ, КТПВ,  
МК, КПД, КТК.

### Конструкция.

Состоит из следующих основных узлов:

1-Главные контакты осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи.

2-Дугогасительная система обеспечивает гашение электрической дуги, которая возникает при размыкании главных контактов.



**3-Электромагнитная система обеспечивает дистанционное управление контактором, т. е. включение и отключение.**

**4-Вспомогательные контакты производят переключения в цепях управления контактора, а также в цепях блокировки и сигнализации.**

КТ - 6XXX XX УХЛ 3

Контактор  
переменного  
тока

Условный номер  
серии

С универсальным  
присоединением  
проводов к рейке:

- 2- [ 6022 - 160А
- 6023 - 160А
- 3- [ 6033 - 250А
- 4- [ 6043 - 450А
- 5- [ 6053 - 630А

Число полюсов главных контактов  
контактора: 2 - двухполюсных,  
3-трехполюсных, 4 - четырехполюсных,  
5 - пятиполюсных

А - дополнительное условное обозначение  
специфических особенностей: повышенная ком-  
мутационная способность при напряжении 660В,  
Б - дополнительное условное обозначение спец-  
ифических особенностей серии (модернизация),

С - добавляется к обозначению контакторов,  
предназначенных для работы в продолжитель-  
ном режиме и имеющих на главных контактах  
металлокерамические контакты на основе серебра.

Исполнение:

У - для районов умеренного климата;  
ХЛ - холодного климата;  
3 - категория размещения.

Присоединение внешних проводников - универсальное.  
Степень защиты - IP00.

**КТ-6033Б У3 220В.**

## Автоматические выключатели.

Это механический коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения ЭЦ и многократной защиты электроустановок от перегрузок, короткого замыкания и снижения напряжения (не все).



**АП-50**



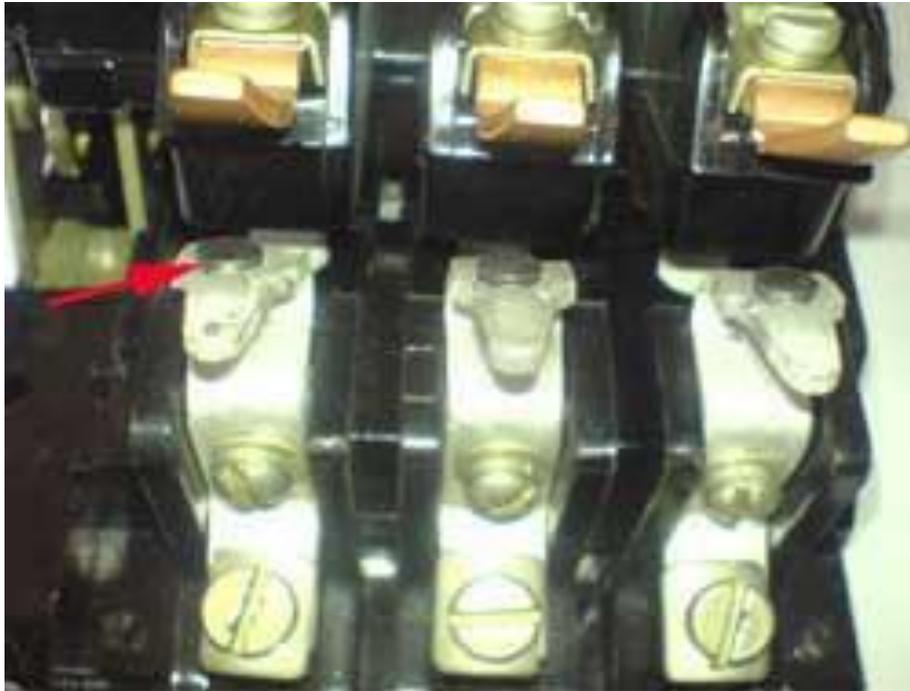
**АП 50Б**



*Открываем верхнюю крышку  
автоматического выключателя,  
смотрим, что внутри:*

- две кнопки управления,  
красная кнопка отключение,  
белая кнопка включение.**
- КОНТАКТНЫЙ МЕХАНИЗМ,  
СОСТОЯЩИЙ ИЗ ПОДВИЖНЫХ И  
НЕПОДВИЖНЫХ КОНТАКТОВ.**

**АП 50Б**



**Верхние подвижные контакты состоят из медного сплава. На нижние не подвижные контакты для хорошего и надежного контакта установлены напайки из серебряного сплава в форме плоской шайбочки.**



**токовые катушки электромагнитного расцепителя.**

**Функция расцепителя: при коротком замыкании в цепи, защищаемом автоматическим выключателем происходит гигантский скачок тока. Ток, проходя через катушку магнитного расцепителя, в витках создает сильное магнитное поле, которое притягивает сердечник катушки. Сердечник втягивается в катушку и нажимает на спусковой механизм, который мгновенно отключает автоматический выключатель, тем самым предотвращает развитие короткого замыкания и последствий КЗ.**



**Можно проверить  
электромагнитную  
защиту  
автоматического  
выключателя,  
эмитировать короткое  
замыкание, нажатием  
на сердечник. При  
нажатии на сердечник  
автомат должен,  
мгновенно отключиться  
при условии, что он  
включен.**



**Спусковой механизм**

**Это механическое устройство, которое приводит в действие подвижные контакты автомата на отключение. При включении автомата взводятся пружины, фиксируется в заряженном состоянии, ожидая отключающего сигнала при не нормальном режиме питающей линии.**

**Регулировка чувствительности защиты осуществляется маленьким рычагом. Перемещаем рычаг вверх, чувствительность защиты ухудшается, защите потребуется более сильный сигнал для отключения автомата, а перемещение рычага в низ защита становится чувствительна, автомат отключится при малейшем сигнале.**



**Тепловая защита  
устанавливается в  
нижней части автомата.**



**Чтобы рассмотреть тепловую  
защиту необходимо аккуратно  
снять заднюю крышку, подцепив  
ее отверткой, она спокойно  
снимется, освободившись из  
металлических шляпок.**



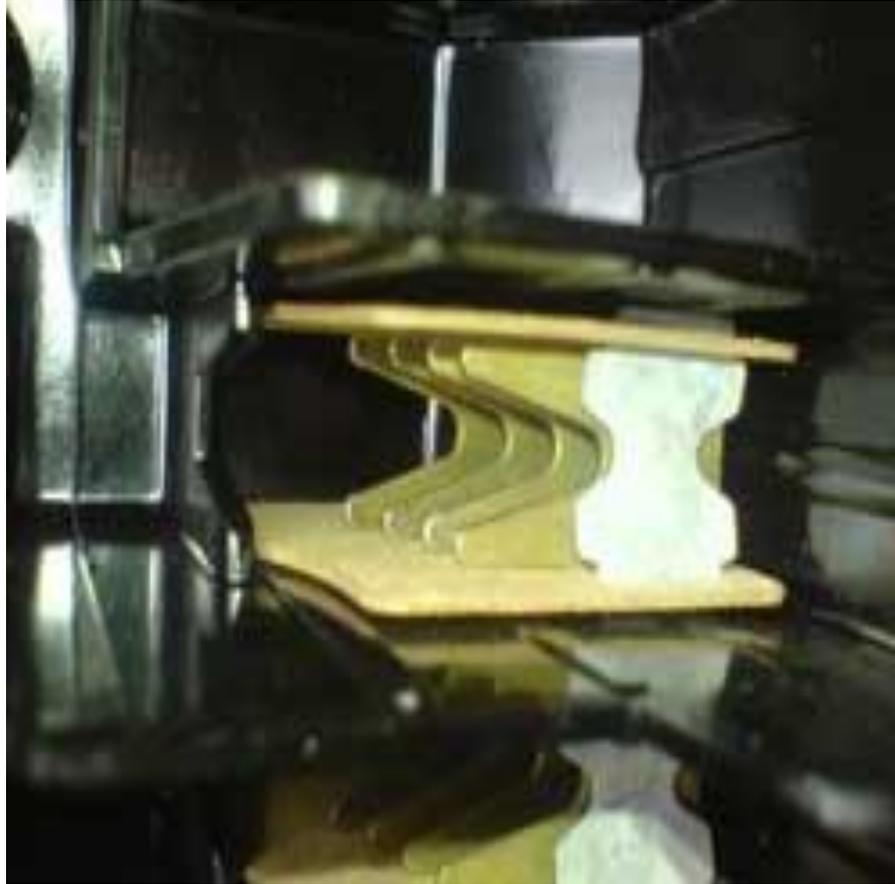
**Биметаллическая пластина рассчитана на определенный ток. Если ток на биметаллической пластине превышает установленное значение, то проходящий ток будет разогревать ее, при этом пластина начнет деформироваться, выгибаться и надавит на отключающую**

**На рисунке изображено: три биметаллических пластинки на каждую фазу и отключающая планка "ОП", которая приводит в действие спусковой механизм.**



**В верхней крышке автоматического выключателя стоит не менее важное устройство, это дугогасящая камера, на каждой фазе.**

**При возникновении короткого замыкания автомату придется отключать гигантский ток. При разрыве контактов за контактами потянется дуга, соизмерима, что при сварке. Чтобы дуга не перешла на соседние контакты, и не образовалось междуфазное короткое замыкание внутри автомата, дугогасящие камеры**



**Крупным планом дугогасящая камера.**

**Дугогасящая камера - это набор металлических пластинок изолированных друг от друга, закрепленные на двух токонепроводящих пластинах.**



**Вид сверху, здесь хорошо видно расположение пластинок, они повторяют траекторию отключающего контакта при отключении автомата.**

## Расчет и выбор расцепителей автоматических выключателей

Номинальные токи расцепителей выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.р} \geq I_p$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ( $I_{ср.о}$ ) проверяется по пиковому току линии ( $I_{кр}$ ):

$$I_{ср.о} \geq k_n I_{кр}$$

где  $k_n$  — коэффициент надежности отстройки отсечки от пикового тока, учитывающий: возможный разброс тока срабатывания отсечки относительно уставки; некоторый запас по току. Значения  $k_n$  принимаются в зависимости от типа автомата. При отсутствии таких данных можно принять:  $k_n = 1,25 \dots 1,5$ .

### Пример.

Рассчитать ток и выбрать автоматический выключатель для защиты от перегрузки и токов короткого замыкания линии, по которой питается асинхронный двигатель мощностью 11 кВт,

$$P_H = 11 \text{ кВт}$$

$$\cos\varphi_H = 0,87;$$

$$\eta_H = 87,5\%;$$

$$\frac{I_{\Pi}}{I_H} = 7,5.$$

$$U_H = 380 \text{ В}.$$

### Решение.

Определяем длительный расчетный ток:

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_H \cos\varphi_H \eta_H}; \quad I_p = \frac{11}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 22 \text{ А}$$

**Выберем номинальный ток расцепителя из условия:**

$$I_{н.р} \geq I_p \geq 22 \text{ А.}$$

**Выбираем автоматический выключатель серии АП-50 с номинальным ТОКОМ** (Ток выставляется механизмом уставки)

$$I_{н.р.} = 25 \text{ А}$$

**Технические данные автоматических выключателей  
серии АЕ, АК, АП, А, АС**

Тип	Номиналь- ный ток, А	Номи- нальное напряже- ние, В	Число полюсов	Ток уставки, А	Предель- ный ток отключе- ния, кА
АК-63	63	200—400	2, 3	0,63—63	9
АК-50	50	320—400	2, 3	2—50	9
АП-50	50	220—500	2, 3	1,6—50	0,3—2
А-63	25	110—220	1	0,63—25	2,5
АЕ-1000	25	240	1	6—25	1,5
АЕ-2000	25, 63, 100	220—500	1, 2, 3		16
АС-25	25	220—380	2, 3	1—20	2

Устанавливаем невозможность срабатывания автоматического выключателя при пуске: принимаем  $K_H = 1,25$

$$I_{ср.о} \geq k_H I_{кр} \quad I_{ср.эл} \geq 1,25 I_{кр}$$

На электромагнитном расцепителе ток трогания установлен на  $10 I_{нр}$ , значит  $I_{ср.эл} = 250 \text{ А}$ .

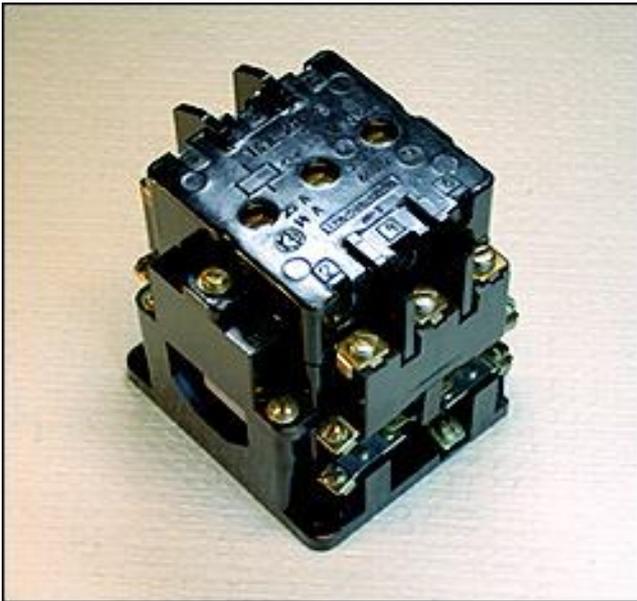
Максимальный кратковременный ток:

$$I_{п} = i_H \frac{I_{п}}{I_{н}}; \quad \frac{I_{п}}{I_{н}} = 7,5. \quad I_{кр} = I_{п} = 22 \cdot 7,5 = 165 \text{ А};$$

$$I_{ср.эл} \geq 1,25 I_{кр} = 1,25 \cdot 165 = 206,3 \text{ А};$$
$$250 \text{ А} > 206,3 \text{ А}.$$

## Магнитный пускатель.

Магнитный пускатель - электромагнитный аппарат для дистанционного и местного управления электродвигателями и другими установками, а также защиты их от перегрузок и токов короткого замыкания.



нереверсивный



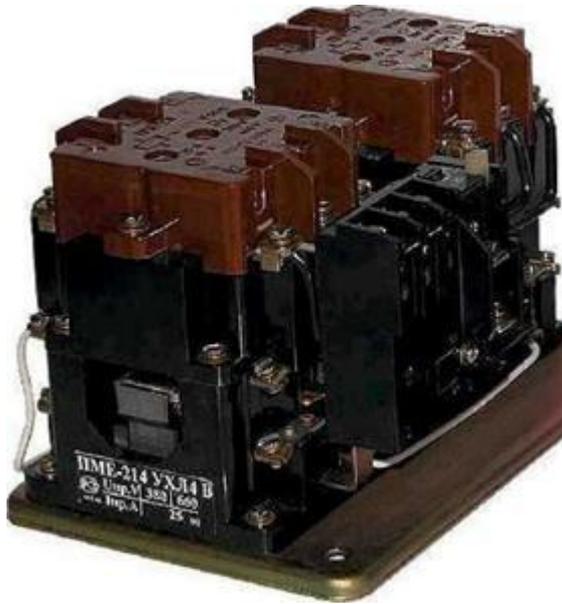
реверсивный

## Электромагнитные пускатели серии ПМ12 на токи 10, 25, 40, 63 А

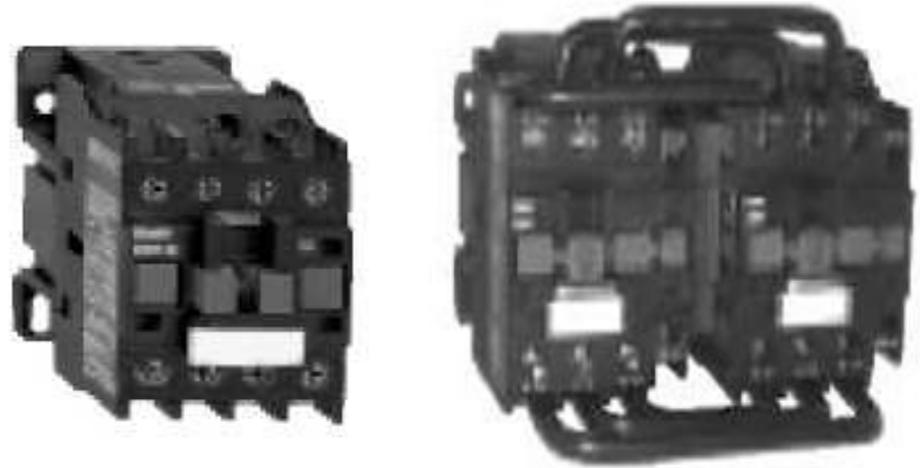
Пускатели серии ПМ12 предназначены для применения в схемах управления электроприводами на напряжение до 660 В переменного тока с частотой 50 и 60 Гц в категориях применения АСС1, АСС3 и АСС4. Пускатели ПМ12 применяются, главным образом, в стационарных установках для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с



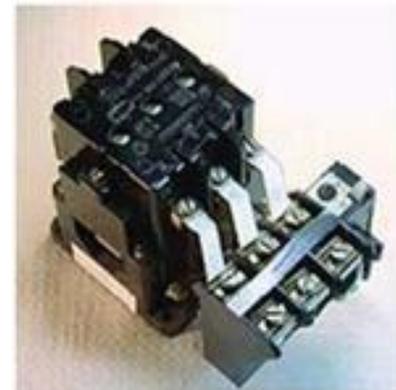
## Электромагнитные пускатели серии ПМУ

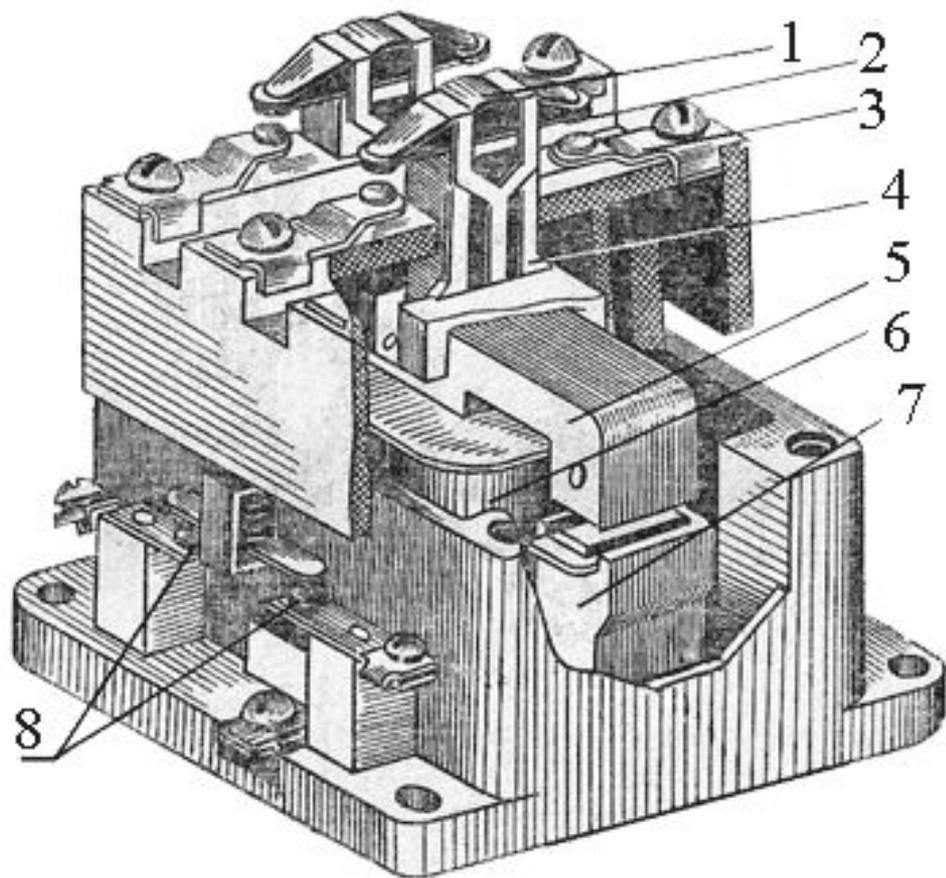


Электромагнитные пускатели серии ПМЕ



ПМА-3000 магнитный пускатель



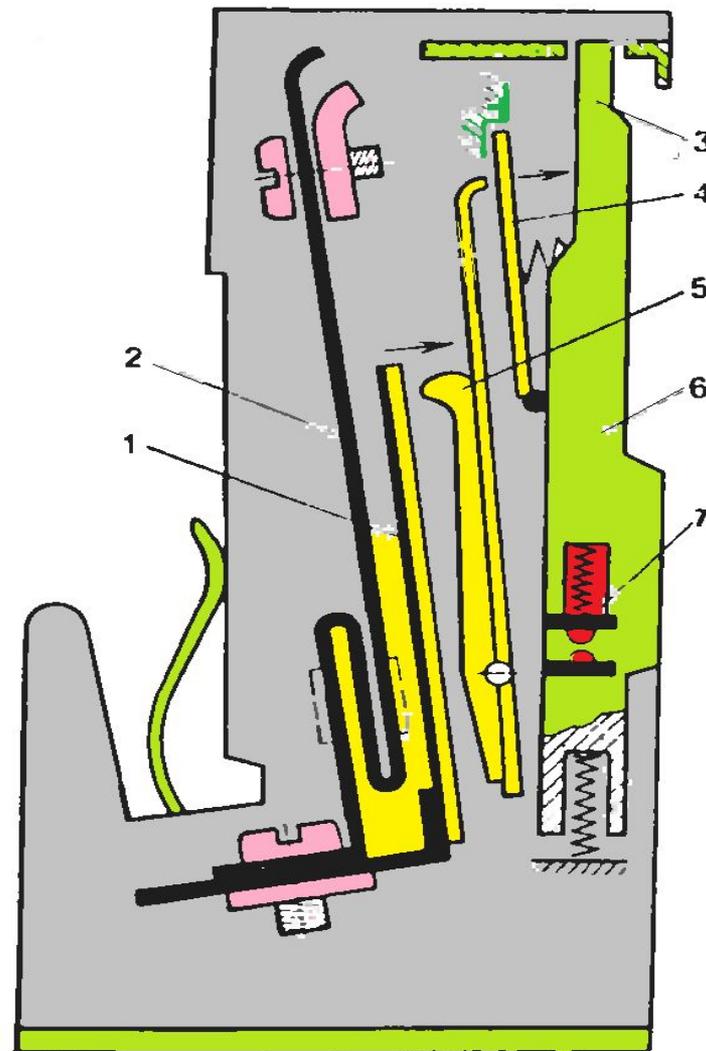


1. **контактная пружина**
2. **контактный мостик**
3. **неподвижные контакты**
4. **траверса**
5. **якорь**
6. **катушка**
7. **сердечник**
8. **блок-контакты**

**Основные узлы магнитного пускателя**

Тепловые реле РТТ, РТЛ, ТРП, ТРН, применяемые в магнитных пускателях, служат для защиты электрических цепей от токов перегрузки.

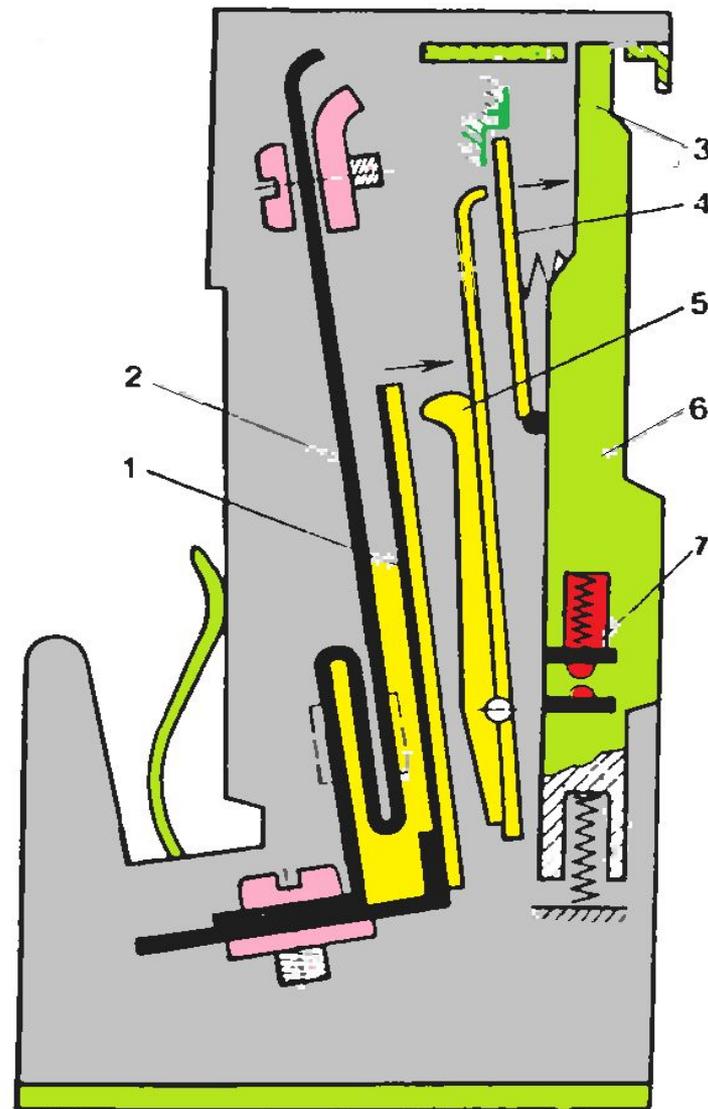
- 1- биметаллическая пластинка**
- 2 – нагреватель**
- 3 – контактная стойка**
- 4 – рычаг**
- 5 - фигурная скобка**
- 6 - стойка**
- 7 - контакты**



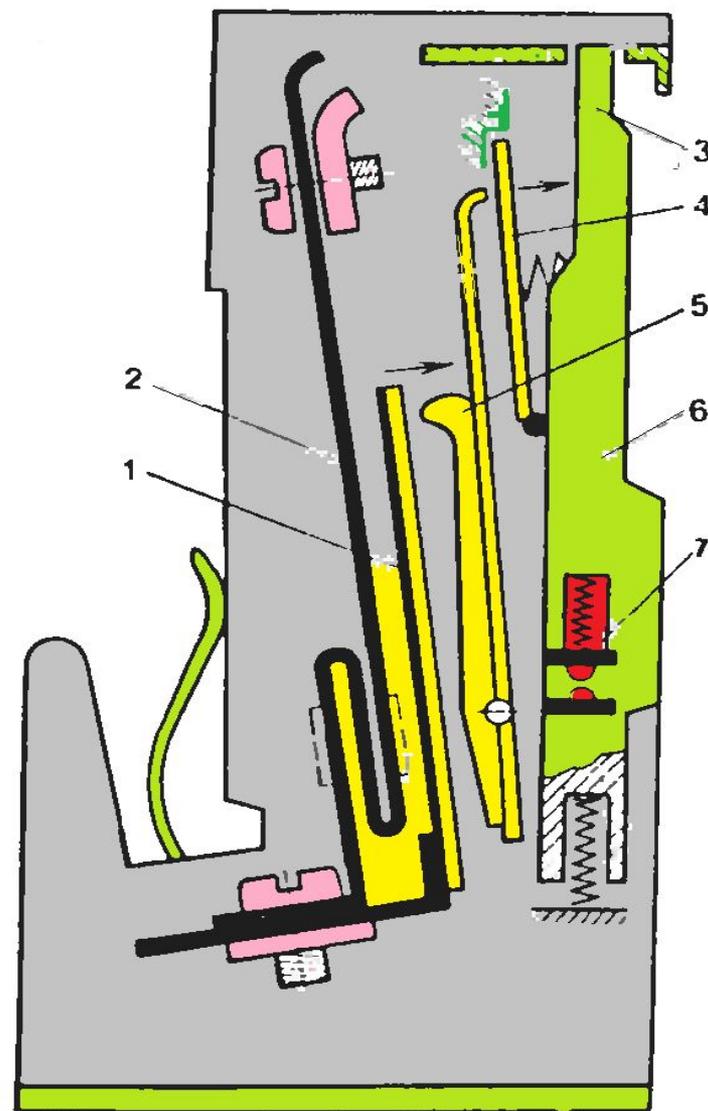
Тепловое реле

Тепловое реле, РТЛ (рис. ), работает следующим образом.

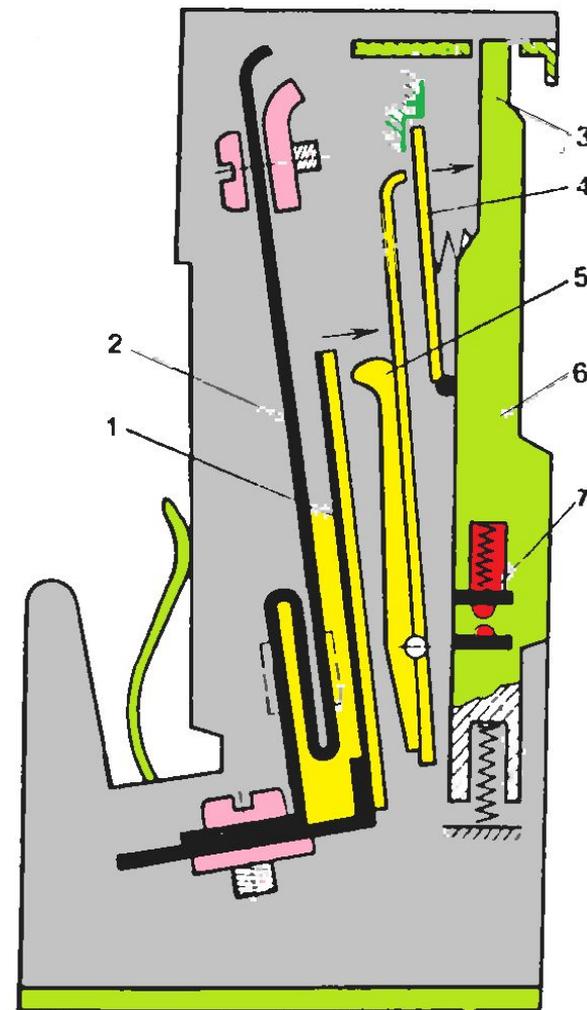
Рабочий ток проходит через нагреватель 2 (сменные пластины из сплава с высоким удельным сопротивлением). Рядом расположена биметаллическая пластинка 1, нижний конец которой закреплен, а верхний свободный.



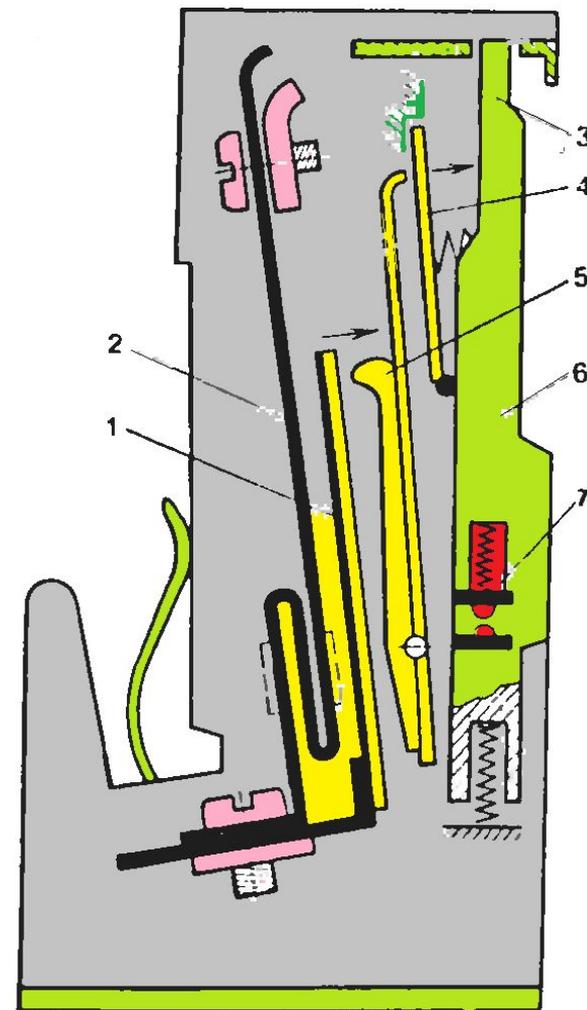
**Подвижные контакты 7  
теплового реле закреплены  
на пластмассовой стойке 6,  
которая упирается в  
пружину. Эта пружина  
старается разомкнуть  
контакты, но с помощью  
рычага 4, который  
упирается в выступ на  
корпусе реле, контакты  
удерживаются в замкнутом  
состоянии.**



**В случае, когда ток, проходящий по нагревателю, небольшой (выделяется небольшое количество теплоты, биметаллическая пластинка почти не сгибается, подвижные части реле занимают положение, показанное на рисунке), контакты реле замкнуты. Если же ток через нагреватель превышает номинальную величину (режим- перегрузки), количество выделяемой в нагревателе теплоты увеличивается, биметаллическая пластинка сгибается (в направлении стрелки) и поворачивает фигурную скобку 5, которая действует на рычаг 4 контактной стойки**



**В результате контакты реле под действием пружины размыкаются. После охлаждения биметаллической пластинки подвижные части не могут самостоятельно занять первоначальное положение, поэтому необходимо нажать на верхнюю часть 3 контактной стойки.**



## Расчет и выбор тепловых реле магнитных пускателей

Тепловая защита отключает электродвигатель от электрической сети, если вследствие протекания в электрической цепи повышенных токов имеет место более высокий нагрев его обмоток.

Такая перегрузка возникает при увеличении нагрузки на валу электродвигателя или при обрыве одной из фаз трехфазного электродвигателя.

Номинальные токи тепловых элементов реле выбирают по длительному расчетному току ( $I_p$ ) или номинальному току электродвигателя ( $I_n$ ) :

$$I_{\text{н.т.}} \geq I_p \text{ или } I_{\text{н.т.}} \geq I_n.$$

### Пример.

Рассчитать ток и выбрать уставку теплового реле серии РТЛ магнитного пускателя ПМЛ, защищающего от перегрузки электродвигатель

$$P_H = 5,5 \text{ кВт},$$

$$\cos \varphi_H = 0,85,$$

$$\eta_H = 85,5\%.$$

### Решение.

Определяем длительный расчетный ток электродвигателя

$$I_p = I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi_H \eta_H}; \quad I_p = \frac{5,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,6 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ200004 второй величины с РТЛ-101604,  $I_{HT} = 12 \text{ А.}$

# Технические характеристики тепловых реле типа РТЛ

Ином пускателя, А	Среднее значение тока теплового реле, А	Пределы регулирования тока срабатывания, А
10	0,14	0,1 - 0,17
	0,21	0,16 - 0,26
	0,32	0,24 - 0,4
	0,52	0,38 - 0,65
	0,8	0,61 - 1,0
	1,3	0,95 - 1,6
	2,0	1,5 - 2,6
	3,2	2,4 - 4,0
	5,0	3,8 - 6,0
	6,8	5,5 - 8,0
25	8,5	7,0 - 10,0
	12,0	9,5 - 14,0
	16,0	13,0 - 19,0
	21,5	18,0 - 25,0
40	21,5	18,0 - 25,0
	27,5	23,0 - 32,0
	35,0	30,0 - 40,0
63	35,0	30,0 - 40,0
	44,0	38,0 - 50,0
	52,0	47,0 - 57,0