

Министерство образования Тульской области  
Государственное профессиональное образовательное учреждение  
Тульской области  
«Донской политехнический колледж»

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

на тему:

**«Расчет и выбор аппаратуры в релейно-контакторной схеме управления электроприводом асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»**

для студентов специальности

**13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)»**

2020 г.

Разработчик:

Филимонов О.В., преподаватель ГПОУ ТО «Донской политехнический колледж».

Рецензент: Офицерова Е.А., заведующий отделением «Машиностроение и энергетика» ГПОУ ТО «Донской политехнический колледж».

Рассмотрено на заседании предметной (цикловой) комиссии дисциплин профессионального цикла отделения «Машиностроение и энергетика»

31.08.2020 г. протокол № 1

Председатель ПЦК: Кирьянова Т.В.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАСЧЕТНУЮ РАБОТУ .....	4
2 РАСЧЁТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ПУСКА АД .....	5
2.1 Описание схемы реверсивного пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя с реверсом скорости .....	5
2.2 Определения значений номинального и пускового тока двигателя .....	6
2.3 Выбор рубильника .....	7
2.4 Выбор максимальных токовых реле .....	7
2.5 Выбор магнитного пускателя.....	8
2.6 Выбор тепловых реле.....	8
2.7 Выбор предохранителей .....	9
3 РАСЧЁТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ПЧ-АД .....	10
3.1 Выбор автоматического выключателя .....	12
3.2 Выбор плавких предохранителей .....	13
3.3 Спецификация аппаратов защиты системы ПЧ-АД.....	14
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	15

## 1. Задание на самостоятельную расчетную работу

1. Произвести расчет и выбор аппаратуры в релейно-контакторной схеме управления электроприводом асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (рисунок 2.1) в соответствии с техническими данными двигателя. Данные двигателя приведены в таблице 1.1.

2. Произвести расчёт и выбор аппаратуры для защиты системы ПЧ-АД (асинхронный двигатель выбирается в соответствии с первой частью задания). Принципиальная схема защиты преобразователя частоты (ПЧ) с автономным инвертором напряжения (АИН) представлена на рисунке 3.1

Таблица 1.1

Характеристики выбранного двигателя

Номер варианта	Тип	Мощность, кВт	Скольжение $s, \%$	КПД, %	$\cos\varphi$	$M_{\max}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$
Синхронная скорость вращения 3000 об/мин								
15	4A180S4У3	22	2	90	0.9	2.2	1.4	7

## 2. Расчет и выбор аппаратуры релейно-контакторной схемы управления электроприводом АД с короткозамкнутым ротором

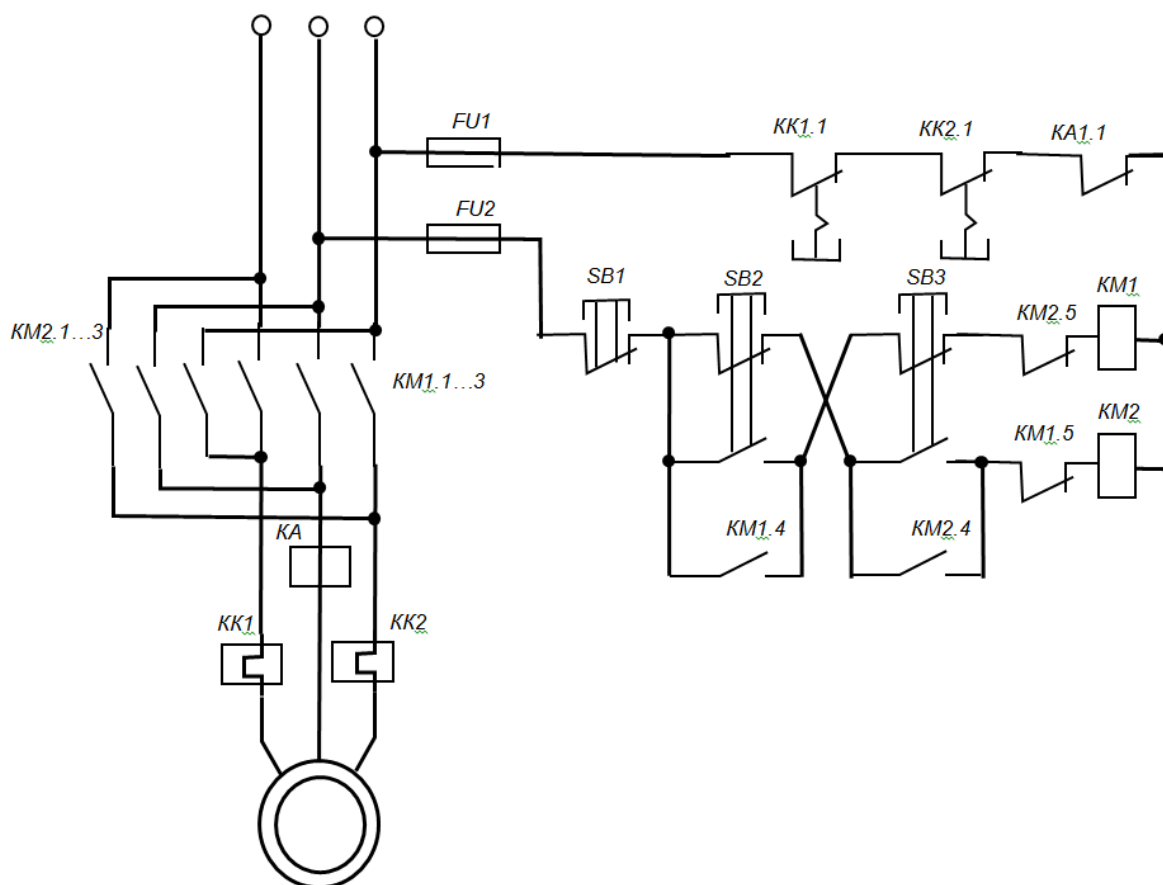


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема реверсивного пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя с реверсом скорости

### 2.1. Описание схемы реверсивного пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя с реверсом скорости

На рисунке 2.1 представлена принципиальная схема реверсивного пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя с реверсом скорости при помощи реверсивного магнитного пускателя.

Для пуска двигателя в нужном направлении, например, вперед, необходимо нажать кнопку *SB2*. При этом включается группа контактов *KM1.1-3* магнитного пускателя *KM1* и присоединяет двигатель к сети. Одновременно замыкающий блок-контакт *KM1.4* блокирует кнопку *SB2*. Для остановки двигателя необходимо нажать кнопку *SB1*, которая отключит контакты магнитного пускателя, и двигатель будет отсоединена от сети.

Для пуска двигателя в обратном направлении необходимо нажать кнопку **SB3**, которая включит группу контактов **KM2.1-3**, магнитного контактора **KM2**. Две фазы статора двигателя (**A** и **B**) поменяются местами, и он начнет вращаться в обратном направлении. Если нажать кнопку **SB2** при включенных контактах **KM1**, то размыкающий контакт этой кнопки отключит контакты **KM1.1-4**, после чего включатся контакты **KM2.1-4**. В результате произойдет *торможение противовключением* с последующим реверсом двигателя.

Защита двигателя от больших токов осуществляется с помощью максимальных токового реле **KA** и тепловых реле **KK1** и **KK2**. При срабатывании любого из реле размыкается его контакт (**KA1.1**, **KK1.1** и **KK2.1**) в цепи контакторов в схеме управления. Последние отключаются, и отсоединяют двигатель от сети.

Для защиты цепи питания двигателя от межфазного замыкания, которое может произойти при одновременном включении контакторов **KM1** и **KM2** в цепи управления предусмотрены блокировки:

- в схеме используются кнопки с двумя контактами – замыкающим и размыкающим. Эти контакты включены в разные цепи, обеспечения надежную электрическую блокировку;
- питание катушек контакторов осуществляется через замкнутые контакты соседнего контактора, что не позволяет подать напряжение на катушку, например, **KM1** при включенной катушке **KM2**.

Для защиты цепи управления предусмотрены предохранители **FU1** и **FU2**.

## 2.2. Определения значений номинального и пускового тока двигателя

Прежде чем приступить к непосредственному выбору пускозащитной аппаратуры, необходимо по данным номинальным параметрам двигателя и сети рассчитать номинальный ток двигателя и его пусковой ток.

Номинальный ток двигателя можно определить по следующей формуле:

$$I_{ном.дв} = \frac{P_n}{m \cdot U_{ном.сети} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \quad (2.1)$$

где  $m$  – число фаз статора.

$$I_{ном.дв} = \frac{22 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 23,8(A)$$

По известной кратности пускового тока можно определить его значение:

$$I_{пуск.дв} = 7,5 \cdot I_{ном.дв} \quad (2.2)$$

$$I_{\text{пуск.дв}} = 7,5 \cdot 23,8 = 178,5(A)$$

После определения значений номинального и пускового тока можно приступить к выбору требуемой аппаратуры.

### 2.3. Выбор рубильника

Выбор рубильников необходимо, в общем случае, осуществлять, исходя из следующих условий:

1.  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$ ;
2.  $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{прод.расч}}$ ;
3.  $I_{\text{откл.доп}} \geq I_{\text{раб.т}}$  (в случае, если рубильник имеет дугогасительные камеры или разрывные контакты)

В указанных выше соотношениях представлены следующие обозначения:  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, на которое рассчитан рубильник;  $U_{\text{ном.сети}}$  – номинальное напряжение сети;  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток контактов рубильника;  $I_{\text{прод.расч}}$  – продолжительно допустимый ток проводника;  $I_{\text{откл.доп}}$  – предельно допустимое значение тока отключения;  $I_{\text{раб.т}}$  – рабочий ток цепи в момент начала расхождения дугогасительных контактов аппарата. Выбираем по таблице 2.4 (литература [3]) переключатель-разъединитель с центральным рычажным приводом серии ППЦ-32, со следующими номинальными параметрами:  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ ,  $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$ .

### 2.4. Выбор максимальных токовых реле

1. Выбираем ток уставки реле в зависимости от типа двигателя:

Так как в данной схеме используется асинхронный короткозамкнутый двигатель, то ток уставки реле выбираем по следующему выражению:

$$I_{\text{уст.р}} = 1,3 \cdot I_{\text{пуск.дв}} \quad (2,3)$$

$$I_{\text{уст.р}} = 1,3 \cdot 178,5 = 232,05(A)$$

2. Выбираем номинальный ток реле

Исходя из условий выбора максимальных токовых реле по номинальному току  $I_{\text{ном.р}}$ , нужно выбирать такие реле, чтобы выполнялось условие:

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ном.дв}} = 23,8A \quad (2.4)$$

Указанным двум условия удовлетворяет реле серии РЭО-401 со следующими номинальными параметрами:  $I_{\text{ном}}=63A$ ,  $I_{\text{сраб.р}}=(82 \div 252)A$ .

## 2.5. Выбор магнитного пускателя

Для пуска, реверса и аварийного отключения в схеме электропривода используется реверсивный магнитный пускатель. Для выбора требуемого магнитного пускателя обратимся к пункту 2.2.3 методических указаний. Параметры выбираемых магнитных пускателей должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{aligned}U_{\text{ном}} &\geq U_{\text{ном.сети}} = 380\text{В} \\I_{\text{ном}} &\geq I_{\text{ном.дв}} = 23,8\text{А} \\I_{\text{пред}} &\geq I_{\text{пуск.дв}} = 178,5\text{А}\end{aligned}\quad (2.5)$$

Указанным условиям удовлетворяет магнитный пускатель типа ПМЕ-200 со следующими номинальными параметрами:

$$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{ном}} = 25 \text{ А};$$

$$I_{\text{пред}} = 280 \text{ А};$$

пусковая мощность, потребляемая обмоткой,  $P_{\text{в}} = 160 \text{ ВА}$ ;

номинальная мощность обмотки  $P_{\text{р}} = 8 \text{ ВА}$ .

## 2.6. Выбор тепловых реле

При выборе теплового реле будем придерживаться порядка, указанного в пункте 2.2.4 настоящих методических указаний:

1. Выбираем предварительное значение номинального тока нагревателя  $I_{\text{ном.нагр}}$  номинального тока реле  $I_{\text{ном.р}}$ :

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ном.нагр}} = 23,8\text{А}\quad (2.6)$$

В соответствии с этим значением предварительно выбираем тепловое реле серии ТРН, для которого значение коэффициента  $\delta = 2\%$ .

2. Приводим  $I_{\text{ном.нагр}}$  к действительной температуре окружающей среды, т.е. к  $t_{\text{окр}}$  (считаем, что  $t_{\text{окр}} = +75^{\circ}\text{C}$ ):

$$I_{\text{ном.нагрт}} = I_{\text{ном.нагр}} \cdot \left( 1 - \frac{\delta}{100} \cdot \frac{t_{\text{окр}} - t_{\text{окр.н}}}{10} \right)\quad (2.7)$$

$$I_{\text{ном.нагрт}} = 23,8 \cdot \left( 1 - \frac{2}{100} \cdot \frac{75 - 40}{10} \right) = 22,134(\text{А})$$

3. Выбираем номинальное значение тока уставки  $I_{\text{ном.уст}}$

Так как двигатель работает при температуре, отличной от номинальной, ток уставки выбирается, исходя из следующего выражения:



$$I_{ном.уст} = \frac{I_{ном.дв}}{1 - \frac{\delta}{100} \cdot \frac{t_{окр} - t_{окр.н}}{10}} \quad (2.8)$$

$$I_{ном.уст} = \frac{23.8}{1 - \frac{2}{100} \cdot \frac{75 - 40}{10}} = 25.585(A)$$

4. Окончательно выбираем номинальный ток нагревателя  $I_{ном.нагр}$ :

$$17,7A < I_{ном.нагр} < 26,56A$$

Таким образом, выбираем тепловое реле серии ТРН-25 со следующими номинальными параметрами:

$$I_{ном.р} = 25 \text{ A,}$$

$$\text{диапазон изменения тока уставки } I_{уст} = (7,5 \div 13) \text{ A,}$$

$$\text{максимальный ток продолжительного режима при } t_{окр} = 40^\circ, I_{макс40^\circ} = 30 \text{ A.}$$

## 2.7. Выбор предохранителей

В данной схеме электропривода переменного тока предохранители установлены для защиты цепи управления. Выбирая предохранители для защиты цепи управления, будем ориентироваться на значения пусковой мощности, потребляемой обмоткой магнитного пускателя, и ее номинальной мощности в режиме удержания. При этом следует отметить, что в каждый момент времени (пуск, торможение, реверс) работает только одна контактная группа. При защите электродвигателя с частыми пусками или большой длительностью пускового периода (электродвигатели кранов, центрифуг, дробилок – время пуска более 5 с.)

$$I_{ном.в} \geq I_{пуск} / (1,6 \div 2,0)$$

$$I_{ном.в} = 178,5 / 2 = 89,25A$$

Таким образом, выбираем слаботочные предохранители на номинальное напряжение 600 В серии ПР-2-100, рассчитанные на номинальный ток  $I_{ном} = 100 \text{ A}$ .

Таким образом, был произведен расчет и выбор всех необходимых, подходящих по условиям работы, аппаратов для пуска, реверса и защиты асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

### 3. Расчет и выбор аппаратов защиты системы ПЧ-АД

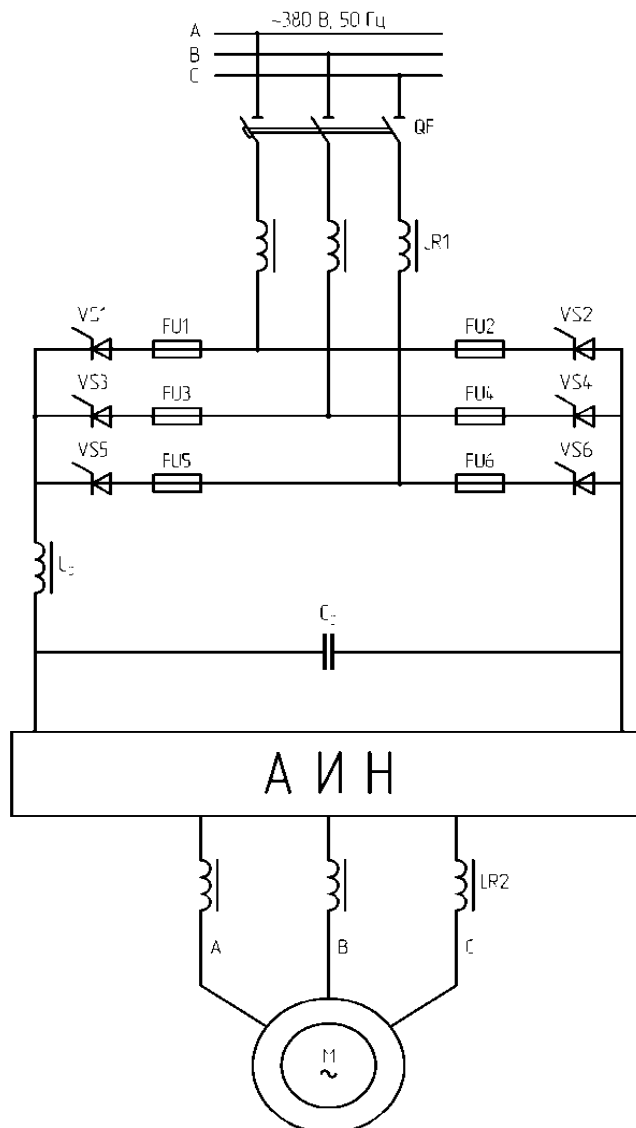


Рисунок 3.1– Принципиальная схема системы ПЧ-АД

В соответствии с рисунком 3.1 можно сказать, что защита преобразователя частоты осуществляется всего двумя видами аппаратов: быстродействующими предохранителями  $FU$  и автоматическим выключателем  $QF$ .

Основная трудность, в данном случае, заключается в том, что в преобразователе частоты имеют место как постоянные, так и переменные ток и напряжение. Например, автоматический выключатель  $QF$  должен выбираться по действующему значению основной гармоники тока. В тоже время, быстродействующие предохранители для защиты силовых тиристорov выбираются исходя из номинального значения выпрямленного тока. Поэтому целесообразно, предварительно вычислить указанные величины. Можно рекомендовать следующий порядок вычислений:

1 Индуктивное сопротивление асинхронного двигателя:

$$X_k^* = \frac{1}{I} \cdot \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} \quad (3.1)$$

$$X_k^* = \frac{1}{23.8} \cdot \sqrt{1 - 0.9^2} = 0.018$$

2 Действующее значение полного тока при номинальной нагрузке:

$$I^* = \sqrt{1 + \left(\frac{0.046}{X_k^*}\right)^2} \quad (3.2)$$

$$I^* = \sqrt{1 + \left(\frac{0.046}{0.018}\right)^2} = 2.744$$

3 Номинальная допустимо-длительная мощность:

$$S_H = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.сети}} \cdot I_{\text{ном.дв}} \cdot I^* \quad (3.3)$$

$$S_H = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 23.8 \cdot 2.744 = 42983(\text{ВА})$$

4 Выбираем преобразователь частоты:

Выбор преобразователя частоты осуществляется исходя из следующих условий:

- $S_{\text{н.пч}} \geq K_3 \cdot S_H = 1.25 \cdot 42983 = 53.7 \text{ кВА};$
- $U_{\text{н.пч}} \geq U_{\text{ном.сети}} = 380\text{В};$
- $I_{\text{н.пч}} \geq I_{\text{пуск.дв}} / \lambda_{\text{пч}} = 178.5 / 2 = 89.25\text{А};$
- $I_{\text{макс.пч}} \geq I_{\text{пуск.дв}} = 178.5\text{А};$

Исходя из перечисленных условий и каталожных данных, выбираем преобразователь частоты типа ТРИОЛ АТ04-55 со следующими параметрами:

$$S_{\text{н.пч}} = 72\text{кВА};$$

$$I_{\text{н.пч}} = 110\text{А};$$

$$I_{\text{макс.пч}} = 132\text{А};$$

$$U_{\text{н.пч}} = 380\text{В};$$

$$\eta_{\text{пч}} = 0.885;$$

$$P_{\text{ном.дв}} = 22\text{кВт}.$$

5. Активная мощность на выходе инвертора:

$$P_{вх.л} = P_{дн} = \frac{S_H \cdot \cos \varphi}{\eta_{ПЧ}} \quad (3.4)$$

$$P_{вх.л} = \frac{4,3 \cdot 0,9}{0,885} = 4,373(\text{кВт})$$

6. Номинальное напряжение в звене постоянного тока:

$$U_{дн} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ФН} \cdot \pi}{2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{НОМ.СЕТИ} \cdot \pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (3.5)$$

$$U_{дн} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380 \cdot 3,14}{2 \cdot \sqrt{3}} = 487,34(\text{В})$$

7. Номинальный выпрямленный ток:

$$I_{дн} = \frac{P_{дн}}{U_{дн}} \quad (3.6)$$

$$I_{дн} = \frac{4,373 \cdot 10^3}{487,34} = 8,973(\text{А})$$

8. Действующее значение первой гармоники тока:

$$I_{1л} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot I_{дн} \quad (3.7)$$

$$I_{1л} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 8,973 = 7,326(\text{А})$$

Таким образом, был произведен предварительный расчет номинального значения выпрямленного тока и действующего значения первой основной гармоники тока. Кроме того был выбран преобразователь частоты, технические параметры которого необходимо будет учесть при дальнейшем выборе автоматического выключателя.

### 3.1 Выбор автоматического выключателя

Для защиты преобразователя частоты выбираем автоматический выключатель серии А3700 с тепловым и электромагнитным расцепителями. Требуемый автоматический выключатель должен удовлетворять следующим условиям:

- Номинальное напряжение  $U_{нвыкл} \geq U_{нсети} = 380 \text{ В}$ ;
- Номинальный ток выключателя  $I_{нвыкл} \geq I_{1л} = 7,326 \text{ А}$
- Уставка по току срабатывания теплового расцепителя

$$I_T \geq 1,25 I_{1л} = 1,25 \cdot 7,326 = 9,16 \text{ А}$$

- Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{эм}} \geq 1,2 I_{\text{макс.пч}} = 1,2 * 132 = 158,4 \text{ А}$$

Указанным условиям удовлетворяет автоматический выключатель типа А3712Б со следующими номинальными параметрами:

$$U_{\text{н.выкл}} = 380 \text{ В},$$

$$I_{\text{н.выкл}} = 160 \text{ А},$$

$$I_{\text{т}} = 18 \text{ А},$$

$$I_{\text{эм}} = 160 \text{ А}$$

### 3.2 Выбор плавких предохранителей

Из рисунка 3.1 видно, что плавкие предохранители использованы для защиты силовых полупроводниковых вентилях – тиристоров. Поэтому выбираем быстродействующие предохранители серии ПП57. Для определения номинального тока плавкой вставки воспользуемся выражением, приведенным в пункте 2.5:

$$I_{\text{НОМ.В}} = K_{\text{зап}} \cdot \frac{\lambda_{\text{ПЧ}} \cdot I_{\text{дН}}}{\sqrt{3} \cdot n} \quad (3.8)$$

$$I_{\text{НОМ.В}} = 1,2 \cdot \frac{2 \cdot 8,973}{\sqrt{3} \cdot 1} = 10,36 \text{ (А)}$$

Кроме того, номинальное напряжение выбираемого предохранителя должно быть не менее 380 В.

Указанным условиям удовлетворяет плавкий предохранитель ПП57-25 со следующими номинальными параметрами:  $I_{\text{НОМ.п.в}} = 20 \text{ А}$ ,

номинальный ток предохранителя  $I_{\text{НОМП}} = 50 \text{ А}$ ,

$U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$ .

### 3.3. Спецификация аппаратов защиты системы ПЧ-АД

№ п/п	Обозн. на схеме	Наименование	Кол.	Примечание
1	QF	Автоматический выключатель А3712Б	1	$U_{н}=380В$ $I_{нрасц}=160А$
2	KM	Магнитный пускатель ПМЕ – 200	1	$U_{ном} = 380 В$ ; $I_{ном} = 25А$ ; $I_{пред} = 280 А$
3	М	Асинхронный двигатель 4А180S4У3	1	$P_{н}=22 кВт$ $n_{н}=3000 об/мин$
4	KK	Реле тепловое ТРН-25	1	$I_{уст} = (7,5 \div 13)А$
5	FU	Предохранитель ПР-2-100	2	$I_{пл.вст.}=100А$
6	FU	Предохранитель ПР-2-100	6	$I_{пл.вст.}=100А$
7	QS	Рубильник ППЦ – 32	1	$I_{н}=250А$
8	ПЧ	Преобразователь частоты ТРИОЛ АТ04-55	1	$S_{н.пч}=72кВА$ , $I_{макс.пч}= 132А$ , $I_{н.пч}=110А$
9	КА	Реле максимального тока РЭО – 401	1	$I_{уст}=63А$

## **Список используемых источников**

1. Чунихин А.А., “Электрические аппараты”, Москва, Энергоатомиздат, 1988г.;
2. Сыромятников В.Я., Фомин Н.В., Сыромятникова Т.Н., “Электрические и электронные аппараты”, Магнитогорск, 2006г.;
3. Лукин А. Н., “Шаг за шагом”, Магнитогорск, 2006.