

9. ВЫБОР КОММУТАЦИОННОЙ И ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ (ШКАФОВ)

К коммутационным аппаратам относятся рубильники, контакторы и магнитные пускатели. Они различаются по способу управления (ручные и дистанционные), назначению и исполнению.

Аппараты ручного управления (рубильники, переключатели, пакетные выключатели, пусковые ящики) применяются при небольшом количестве включений в час, если не требуется дистанционное или автоматическое включение.

Аппараты дистанционного управления (контакторы и магнитные пускатели) применяются в схеме автоматического управления двигателями.

По исполнению аппараты подразделяются на открытые, защищенные, закрытые и взрывобезопасные.

Аппарат выбирают по роду тока, напряжению, мощности или току приемника, способу управления, исполнению. При выборе необходимо, чтобы технические данные выбираемого аппарата соответствовали расчетным величинам тока или мощности той электрической цепи, которой он устанавливается.

К защитным аппаратам относятся автоматические выключатели и плавкие предохранители.

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для автоматического отключения электрических цепей при к.з. или ненормальных режимах (перегрузках, снижении или исчезновении напряжения), а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки. Отключение выключателя при к.з. и перегрузках выполняется встроенным в выключатель автоматическим устройством — расцепителем. Выключатель может иметь комбинированный расцепитель (электромагнитный и тепловой) или только электромагнитный, отключающий ток к.з. Номинальный ток расцепителя $I_{н.расц.}$ может отличаться от номинального тока выключателя, поскольку в выключатель могут быть встроены расцепители с меньшим номинальным током.

Автоматические выключатели могут иметь следующие защитные характеристики:

- зависимую от тока характеристику времени срабатывания; такие выключатели имеют только тепловой расцепитель; применяются редко вследствие недостаточной ПКС быстрогодействия;

- независимую от тока характеристику времени срабатывания; такие выключатели имеют только токовую отсечку, выполненную с помощью электромагнитного или полупроводникового расцепителя, действующего без выдержки или с выдержкой времени;

- ограниченно зависимую от тока двухступенчатую характеристику времени срабатывания; в зоне перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени, а в зоне токов к.з. выключатель отключается токовой отсечкой с независимой от тока выдержкой времени (для селективных выключателей) или без выдержки времени (для неселективных выключателей); выключатели имеют либо тепловой электромагнитный (комбинированный) расцепитель, либо полупроводниковый расцепитель;

- трехступенчатую защитную характеристику, при которой выключатель отключается в зоне токов перегрузки с зависимой от тока выдержкой времени; в зоне токов к.з. — независимо от тока выдержкой времени (зона селективной отсечки), а при близких к.з. — с выдержкой времени (зона мгновенного срабатывания). Зона мгновенного срабатывания предназначена для уменьшения длительности воздействия токов при близких к.з. Такие выключатели имеют полупроводниковый расцепитель и применяются для защиты вводов отходящих линий на шинах НН КТП.

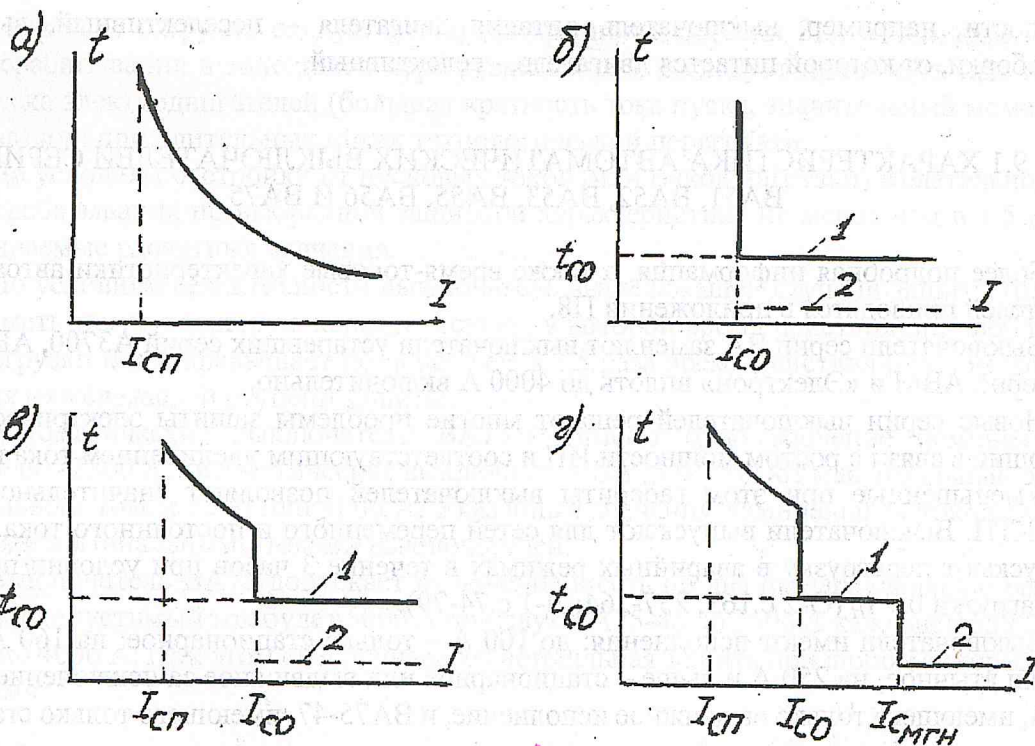


Рисунок 14. Защитные характеристики автоматических выключателей: а) зависимая; б) независимая; в) ограниченно зависимая; г) трехступенчатая 1 – с выдержкой времени при к.з.; 2 – без выдержки времени при к.з.

Для выключателя с полупроводниковым расцепителем серии БПР характеристика защиты – ограниченно зависимая, а для селективных выключателей – трехступенчатая. Для выключателя с комбинированным расцепителем – ограниченно зависимая, а для выключателя тока с электромагнитным расцепителем – независимая.

Выбирают выключатели из условий нормального режима: номинальное напряжение выключателя должно соответствовать номинальному напряжению сети $U_{нв} \geq U_{нс}$; соответствия номинального тока расцепителя расчетному току электроприемника или группы ЭП (для сборок и щитов) в длительном режиме $I_{н.расц.} \geq I_p$. Затем намеченные к выбору выключатели проверяют по условиям стойкости к токам к.з.

Предельной коммутационной способностью (ПКС) выключателя называют максимальное значение тока к.з., которое выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии. ПКС выключателя должна быть не менее значения тока к.з. в месте его установки.

Электродинамическая стойкость характеризуется амплитудой ударного тока к.з., который способен пропустить выключатель без остаточных деформаций деталей. Если значение электродинамической стойкости в каталоге не приводится, то это означает, что стойкость выключателя определяется его ПКС.

Термическая стойкость задается величиной, измеряемой в $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$. Если термическая стойкость в каталоге отсутствует, то это означает, что выключатель является термически стойким при всех временах отключения, определяемых его защитной характеристикой. Полное время отключения выключателя – время срабатывания расцепителей, механизма выключателя, расхождения силовых контактов и окончания гашения дуги (используется при проверке селективности защиты).

Выключатель должен обеспечивать условие селективности между последовательно включенными автоматами, что достигается применением селективных выключателей, имеющих выдержку времени при срабатывании отсечки. Селективность автоматов проверяется сопоставлением их характеристик на карте селективности. Характеристики не должны накладываться или пересекаться. Следует стремиться к схемам сетей с одной ступенью

селективности, например, выключатель питания двигателя – неселективный, выключатель питания сборки, от которой питается двигатель, – селективный.

9.1 ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СЕРИЙ ВА51, ВА52, ВА53, ВА55, ВА56 И ВА75

Более подробная информация, а также время-токовые характеристики автоматических выключателей приводятся в приложении П8.

Выключатели серии ВА заменяют выключатели устаревших серий АЗ700, АЕ2000 и др. а также серий АВМ и «Электрон» вплоть до 4000 А включительно.

Новые серии выключателей решают многие проблемы защиты электрических сетей возникающие в связи с ростом мощности ИП и соответствующим увеличением тока к.з.

Уменьшенные при этом габариты выключателей позволяют значительно сократить размеры КТП. Выключатели выпускают для сетей переменного и постоянного тока. Выключатели допускают перегрузку в аварийных режимах в течение 3 часов при условии предшествовавшей нагрузки $0,7 I_N$ (О-2 с.163, 257-264; Д-1 с.74-79).

Выключатели имеют исполнения: до 100 А – только стационарное; на 160 А – стационарное или втычное; на 250 А и выше – стационарное или выдвижное за исключением ВА75-47 на 2500 А, имеющего только выдвижное исполнение, и ВА75-47, имеющего только стационарное исполнение.

Выключатели серий ВА51 и ВА52 имеют комбинированные расцепители (электромагнитные и тепловые или только электромагнитные); ВА53, ВА55, ВА75 выпускают с полупроводниковыми максимальными расцепителями; ВА56 выпускается без максимальных расцепителей, но и он при больших значениях тока к.з. автоматически отключается.

Выключатели ВА51 имеют среднюю коммутационную способность, ВА52 – повышенную (см.табл. 9.3).

В обозначении выключателя число 51 (или 52) означает номер серии, а следующее за номером серии двухзначное число 25, 29, 31, 33, 35, 37 или 39 означает номинальный ток выключателя 25, 63, 100, 160, 250, 400 и 630 А соответственно.

Отношение тока срабатывания (отсечки) электромагнитных расцепителей к номинальному току тепловых расцепителей равно 12 для выключателей ВА51(52)-35 и 10 для выключателей ВА51(52)-37 и ВА51(52)-39.

Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями должны срабатывать при токе, значение которого равно 1,25 номинального тока расцепителя, в течение не менее 2 часов (нагретого состояния).

Различают токоограничивающие и токоограничивающие выключатели. Токоограничивающие выключатели ограничивают значение тока к.з. с помощью быстрого введения в цепь электрической дуги дополнительного сопротивления в первый же полупериод и последующее быстрое отключения к.з., при этом ток к.з. не достигает ожидаемого расчетного максимального значения.

Выключатели серии ВА53 – токоограничивающие, серии ВА55 – селективные с выдержкой времени в зоне токов к.з.

Выключатели с полупроводниковым максимальным расцепителем тока допускают ступенчатую регулировку параметров: по току срабатывания в зоне к.з., времени срабатывания номинальному току расцепителя выключателя (см. табл. 9.1 с примечанием).

Ток срабатывания в зоне перегрузки (ток трогания) равен 1,25 номинального тока расцепителя для выключателей ВА53, ВА55, ВА75.

Номинальный ток расцепителя, уставку по току срабатывания в зоне к.з. (кратность отсечки), уставку по времени срабатывания в зоне токов перегрузки и (для селективных выключателей) в зоне токов к.з. следует выбирать минимальными с учетом их ступенчатого регулирования. Максимальные же значения уставки по току срабатывания в зоне к.з. следует использовать только в случаях, когда в защищаемом участке сети возможны броски тока. При спо

к ойном характере нагрузки следует выбирать кратность отсечки 3-5, а иногда 2. Уставку по времени срабатывания в зоне токов перегрузки более 4 с следует принимать при тяжелых условиях пуска электродвигателей (большая кратность тока пуска, значительный момент инерции механизма) или при длительных пиках технологической перегрузки.

По условиям отстройки от пусковых токов (или пиков нагрузки) желательно, чтобы ток и время срабатывания по выбранной защитной характеристике не менее чем в 1,5 раза превышали ожидаемые расчетные значения.

По условиям селективности выключатель вышележащей ступени защиты (ближе к ИП) должен иметь такую защитную характеристику, у которой время действия при любом значении тока перегрузки и к.з. превышает не менее чем в 1,5 раза время действия при том же токе у выключателя нижележащей ступени защиты.

Автоматические выключатели ВА75-45 имеют одно значение номинального тока расцепителя – 2500 А; автоматические выключатели ВА75-47 имеют максимальный расцепитель с номинальным током 2500 или 4000 А. Указанные значения номинальных токов расцепителей считаются и номинальными токами выключателей.

Выключатель ВА75 допускает включение в сеть по два на параллельную работу, тогда суммарный допустимый ток будет 5000 А при двух ВА75-45 по 2500 А каждый и 6300 А при двух ВА75-47 по 4000 А. При этом обеспечивается нормальная защита при любом токораспределении между ними.

Таблица 9.1. Технические данные выключателей серий ВА53, ВА55, ВА75 с полупроводниковыми максимальными расцепителями

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток расцепителя, А	Уставка тока срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне к.з., кратная $I_{н.р.}$	Верхняя граница селективности (ВА55, ВА75)*	
				действующее значение, кА	время срабатывания, с
ВА53-37, ВА55-37	400	160, 250, 400	2, 3, 5, 7, 10	20	0,1; 0,2; 0,3
ВА53-39, ВА55-39	630	160-630	2, 3, 5, 7, 10	25	0,1; 0,2; 0,3
ВА53-41	1000	1000	2, 3, 5, 7	25	0,1; 0,2; 0,3
ВА55-41	1600	1600	2, 3, 5, 7	31	0,1; 0,2; 0,3
ВА53-43, ВА55-43	2500	2500	2, 3, 5	36	0,1; 0,2; 0,3
ВА75-45	2500	2500	2,3, 5, 7	36	0,1; 0,2; 0,3
ВА75-47	4000	4000	2, 3, 5	45	0,1; 0,2; 0,3

Примечания:

1. Верхняя граница селективности – это наибольшее значение токов к.з., при котором выключатели срабатывают с выдержкой времени. В случае превышения граничного тока к.з. выключатель срабатывает без выдержек времени.

2. Уставка расцепителя в зоне перегрузки для всех выключателей $1,25 I_{н.р.}$. Выключатели позволяют получить уставки по времени срабатывания полупроводниковых расцепителей, равные 4,8, 16 с, соответственно кратности тока $6 I_{н.р.}$ при переменном токе.

3. Все выключатели переменного тока в зоне однофазного к.з. срабатывают при $I_{н.р.}$ равном единице.

4. Выключатели допускают ступенчатую регулировку расцепителя от $1,0 I_N$ выключателя до $0,8 I_N$ или $0,63 I_N$; например, 160, 125 и 100 А.

Таблица 9.2. Технические данные выключателей серии ВА56 без максимальных расцепителей

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Предельная коммутационная способность, кА	Стойкость выключателя	
			электродинамическая, кА	термическая, $кА^2 \cdot с$
ВА56-37	400	32,5	40	125
ВА56-39	630	47,5	52,5	360
ВА56-41	1000	55	25	450
ВА56-43	1600	80	31	900

Примечание: выключатели ВА56 без максимальных расцепителей при больших значениях тока к.з. автоматически отключаются несмотря на отсутствие расцепителей благодаря применению на главных контактах электродинамических компенсаторов.

Таблица 9.3. Технические данные выключателей серий ВА51 и ВА52

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя I_{HT} , А	$\frac{I_{ЭР}}{I_{HT}}$	Предельная коммутационная способность, кА, действующее значение
ВА51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 5; 16; 20; 25	7, 10	2
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4,5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	10	3
ВА51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	7, 10	2-2,5-3-8-5
ВА51-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3, 7, 10	2-3-5-5-7
ВА51(52)Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14	3,8-6-7-(12-15-18-25)
ВА51(52)-33	160	80; 100; 125; 160	10	12,5 (28-35)
ВА51(52)Г-33	160	80; 100; 125; 160	14	12,5 (28-35)
ВА51(52)-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12	15 (30)
ВА51(52)-37	400	250; 320; 400	10	25 (30)
ВА51(52)-39	630	250; 320; 400; 500; 630	10	35 (40)

Примечания:

1. Выключатели ВА51Г и ВА52Г предназначены для управления и защиты двигателей к.з. ротором.
2. Выключатели имеют комбинированные расцепители (электромагнитные и тепловые). В зоне перегрузки тепловой расцепитель выключателей ВА51Г и ВА52Г срабатывает при $I_{СП} = 1,2 I_{HT}$, а для ВА51-25, ВА51-31 при I_{HT} , у прочих выключателей – при $1,25 I_{HT}$.
3. ВА51 имеет среднюю коммутационную способность, ВА52 – повышенную (обозначенную в скобках).

9.2 ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Плавкие предохранители применяют в основном для защиты электроприемников электрических сетей от токов короткого замыкания и частично от чрезмерной перегрузки. Правильно выбранные плавкие вставки предохранителей выдерживают токи на 30-50% выше номинальных в течение одного часа и более.

Таблица 9.4. Технические данные предохранителей до 1 кВ

Тип предохранителя	Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А	Предельный отключающий ток, кА
ПН-2	100	30, 40, 50, 63, 80, 100	100
	250	80, 100, 125, 160, 200, 225, 250	100
	400	200, 250, 315, 355, 400	40
	630	315, 400, 500, 650	25
ПР-2	15	6, 10, 15	8
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4,5
	100	60, 80, 100	11
	200	100, 125, 160, 200	11
	350	200, 225, 260, 300, 350	13
	600	350, 430, 500, 600	23
НПН	16	6, 10, 16	8
	63	16, 20, 25, 32, 40, 63	10
ПРС	6	1, 2, 4, 6	2
	25	4, 6, 10, 16, 20, 25	60
	63	20, 25, 40, 63	60
	100	40, 63, 80, 100	60

При токах к.з. плавкая вставка расплавляется мгновенно, размыкая электрическую цепь. В промышленности применяются безынерционные – с малой тепловой инерцией, т.е. с ограниченной способностью к перегрузкам – это предохранители типа ПН-2, ПР-2, НПН, ПРС, технические данные которых приводятся в табл. 9.4. Условия выбора предохранителя: номинальный ток отключения предохранителя должен быть не менее максимального тока к.з. в месте ус

новки. Номинальное напряжение предохранителя должно соответствовать номинальному напряжению сети.

9.3 КОНТАКТОРЫ, МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ, РУБИЛЬНИКИ

Контакторы и магнитные пускатели служат для управления работой ЭД станков, вентиляторов, кранов и других ЭП. Они предназначены для частых включений и отключений под нагрузкой силовых цепей. Контакторы не защищают электрические цепи от ненормальных режимов, поскольку у них отсутствуют защитные элементы.

Контакторы серии КТ 6000 следует применять только для управления ЭД ответственных металлургических механизмов с числом включателей более 300 в час (О-2 с.264). В остальных случаях используются контакторы серии МК1 – МК6 (О-2 с.265) с допустимым числом включений в час до 1200. Контакторы применяются для коммутации силовых цепей ЭД мощностью 100 кВт и выше. Для более мелких ЭП применяют магнитные пускатели.

Магнитные пускатели предназначены главным образом для дистанционного управления АД с к.з. ротором мощностью до 100 кВт (для пуска и останова ЭД – нереверсивные пускатели; для пуска, останова и реверса – реверсивные пускатели). В настоящее время следует применять магнитные пускатели серий ПМЛ и ПМА вместо устаревших ПМЕ и ПА. Технические данные магнитных пускателей серии ПМЛ приведены в табл. 9.5, а пускателей серии ПМА в (О-2 с.268). Пускатели могут исполняться со встроенными в две фазы тепловыми реле. Технические данные реле типа РТЛ для пускателей ПМЛ приведены в табл. 9.6. Для двигателей, работающих в тяжелом режиме АС4, применение тепловых реле исключается. В этом режиме могут применяться реле максимального тока или позисторная защита с помощью датчиков, встраиваемых в обмотки ЭМ (О-2 с.205). Применение тепловых реле защищает ЭД и распределительную сеть от перегрузки, но не обеспечивает защиты от токов к.з. Поэтому в случае применения магнитных пускателей с РТЛ необходимо дополнительно устанавливать в начале питающей линии плавкие предохранители или автоматы с электромагнитными расцепителями.

Более подробная информация о магнитных пускателях – в приложении П17.

Рубильники предназначены для проведения номинальных токов и коммутации электрических цепей без нагрузки. Отключение токов нагрузки рубильниками без дугогасительных камер не допускается.

Таблица 9.5. Пускатели магнитные трехфазного тока серии ПМЛ 380 В

Степень защиты		Величина	Номинальный рабочий ток $I_{НР}$ главной цепи, А		
IP 00	IP 54		Продолжительный, прерывисто-продолжит. режим АС3 при степени защиты		Тяжелый режим АС4 при степени защиты
			IP 00	IP 54	
ПМЛ 110004	ПМЛ 121002	1	10	10	4
ПМЛ 210004	ПМЛ 221002	2	25	22	10
ПМЛ 310004	ПМЛ 321002	3	40	36	16
ПМЛ 410004	ПМЛ 421002	4	63	60	25,2
ПМЛ 510004	ПМЛ 521002	5	80	80	32
ПМЛ 610004	ПМЛ 621002	6	125	100	37,5
ПМЛ 710004	ПМЛ 721002	7	200	160	60

Примечание: первая цифра обозначения пускателей указывает на его величину по току (1 - 10 А, 2 - 25 А и т.д.); вторая цифра – исполнение (1 - нереверсивный без теплового реле, 2 – нереверсивный с тепловым реле, 5 – реверсивный без теплового реле, 6 – реверсивный с тепловым реле); третья цифра – исполнение по степени защиты и наличия кнопок (0 – IP 00, без кнопок, 1 – IP 54 без кнопок, 2 – IP 54 с кнопками «пуск» и «стоп») и т.д.

Таблица 9.6. Тепловые реле РТЛ, встраиваемые в пускатели ПМЛ (режим АС3)

Номинальный ток пускателя, А	Тип реле	Ток теплового элемента, А		Номинальный ток пускателя, А	Тип реле	Ток теплового элемента, А		
		среднее значение	пределы регулирования тока несрабатывания			среднее значение	пределы регулирования тока несрабатывания	
10	100104	0,14	0,1-0,17	40	205304	27,5	23-32	
	100204	0,21	0,16-0,26		205504	35,5	30-41	
	100304	0,32	0,24-0,4	63	205504	35,5	30-41	
	100404	0,52	0,38-0,65		205704	45	38-52	
	100504	0,8	0,61-1,0		205904	55,5	47-64	
	100604	1,3	0,95-1,6		206104	64	54-74	
	100704	2,0	1,5-2,6	80	206104	64	54-74	
	100804	3,2	2,4-4,0		206304	74,5	63-86	
	10	101004	5,0	3,8-6	125	310504	90	75-105
		101204	6,8	5,5-8		312504	107,5	90-125
101404		8,5	7,0-10	200	312504	107,5	90-125	
					316004	137,5	115-160	
25		101604	12	9,5-14	200	320004	172,5	145-200
		102104	16	13-19				
	102204	21,5	18-25					

Для электродвигателей с номинальным током до 40 А включительно следует применять пускатели серии ПМЛ, а для двигателей на 63 А и более – пускатели серии ПМА с реле РТТ (О-2 с.268).

Таблица 9.7. Пускатели магнитные трехфазного тока серии ПМА на 380 В

Степень защиты IP00	Величина	Номинальный ток, I_N , А	Номинальный рабочий ток I_{NR} главной цепи, А		
			в режиме АС3		в режиме АС4
			IP00	IP40, IP54	IP00, IP40, IP54
ПМА 310 ПМА 320	3	40	40	36	16
ПМА 410 ПМА 420	4	63	63	60	25
ПМА 510 ПМА 520	5	100	100	95	40
ПМА 610 ПМА 620	6	160	160	150	48

Таблица 9.8. Рубильники трехполюсные напряжением до 660 В

Типы рубильников	$I_{ном}$, А	Электродинамическая стойкость, кА	Термическая стойкость, од-носекундная, $кА^2 \cdot с$
Р31, РБ31, РПБ31, РПЦ31	100	10	16
Р32, РБ32, РПБ32, РПЦ32	250	20	64
Р34, РБ34, РПБ34, РПЦ34	400	30	144
Р36, РБ36, РПБ36, РПЦ36	630	40	256

Примечание: тип РБ имеет боковую рукоятку, РПБ – привод рычажный боковой, РПЦ – привод рычажный центральный.

Таблица 9.9. Рубильники-разъединители трехполюсные до 1 кВ

Типы	$I_{ном}$, А	Электродинамическая стойкость, кА	Термическая стойкость, двухсекундная, $кА^2 \cdot с$
Р2115, Р2125	630	35	500
Р2315, Р2325	1600	50	1000
Р2515, Р2525	2500	60	1300
Р2715, Р2725	4000	80	1500

9.4 СИЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ

Силовые распределительные пункты (шкафы). Для распределения электроэнергии применяют распределительные шкафы (пункты) с автоматическими выключателями или пла-

кими предохранителями. Распределительные пункты серий ПР11, ПР24 и ПР9000 снимают с производства. Вместо них для сетей переменного тока 50 Гц выпускаются шкафы ПР8501 для силовых ЭУ табл. 9.10 или (О-2 с.283) и осветительных ЭУ табл. 9.10 или (О-2 с.357), которые могут быть использованы для силовых с трехполосными выключателями. Полная комплектация шкафов ПР8501 и ПР8503 приведена в приложении ПЗ. Продолжается выпуск силовых распределительных шкафов серии ШР11 с плавкими предохранителями ПН-2 (или НПН-2).

В шкафы ПР8501 встраиваются выключатели без свободных контактов и дистанционных расцепителей. Вводные выключатели снабжены ручным приводом, рукоятка которого выведена на лицевую сторону шкафа для управления при закрытой дверце. Рукоятка может запирается. Шкафы допускают присоединение к магистрали. Опиновка шкафов ПР8501 стойкая к сквозным токам к.з. до 50 кА, а шкафов ШР11 – до 25 кА.

Магистральные и групповые щитки для осветительных сетей могут быть выбраны из серии силовых распределительных пунктов ПР8501, оборудованных однополюсными и трехполосными автоматами. Эта серия может использоваться и для силовых ЭУ. В табл. 9.12 представлены распределительные пункты ПР8501 для питающих и групповых осветительных сетей напряжением до 380 В переменного тока на номинальный ток до 160 А с рабочим током для ПР21 - 128 А, для ПР54 - 120 А (О-2 с.357).

Групповые щитки типов ЯОУ-8501 – ЯОУ-8508 для осветительных сетей на напряжение 380/220 В (О-2 с.360) и табл. 9.13 укомплектованы однополюсными автоматами АЕ1031 до 25 А и АЕ2044 до 63 А и трехполосными АЕ2046 до 63. Расцепители автоматов комбинированные, токи тепловых расцепителей автоматов АЕ1031 на 6, 10, 16 и 25 А, для автоматов АЕ2044 и АЕ2046 указываются при заказе: 10; 12,5; 16 и т.д.

Групповые щитки типов ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ (О-2 с.361) и табл.9.14. Щитки рассчитаны на напряжение 380/220 В с однополюсными автоматами. Ток расцепителей одинаков для всех автоматов одного щитка и указывается при заказе.

Щитки осветительные взрывонепроницаемые ЩОВ-1А и ЩОВ-2А на напряжение 380/220 В 50Гц для взрывоопасных зон В-Іа, В-Іб, В-ІІ, В-ІІа, В-Іг приведены в (О-2 с.359).

Таблица 9.10. Шкафы силовые распределительные ПР8501

с зажимами на вводе (без выключателей)	Номера схем шкафов при $I_H = 630$ А			Число и тип 3-полосных автоматов на отходящих линиях	
	с выключателями на вводе			ВА51-31	ВА51-35
	ВА51-39 с комбинир. расцепит.	ВА55-39 с полупров. макс. расцепит.	ВА56-39 без макс. расцепит.	с расцепителями на ток, А	
				16-100	100-250
149	090	115	140	6	-
150	091	116	141	8	-
151	092	117	142	10	-
152	093	118	143	12	-
153	094	119	144	-	4
154	095	120	145	2	2
155	096	121	146	4	2
156	097	122	147	6	2
157	098	123	148	8	2

Примечание: шкафы с автоматами на вводе ВА51-39 и ВА55-39 могут применяться только: при отсутствии в начале питающей линии автоматов с защитой (при глухой отпайке от шинпровода); если выключатели отходящих линий не устойчивы к токам к.з.

Таблица 9.11. Шкафы силовые распределительные ШР11 с плавкими предохранителями ПН-2 или НПН:

Обозначение шкафа	Рубильники на вводе			Число трехполосных групп предохранителей и их номинальный ток I_H , А на отходящих линиях
	Тип рубильника	Номинальный ток I_H при степени защиты		
		IP22	IP54	
ШР11-73701	P18-353	250	200	5x63
ШР11-73702				5x100
ШР11-73703				2x63 + 3x100
ШР11-73704*	P18-373	400	320	8x63
ШР11-73705*				8x100
ШР11-73706*				8x250
ШР11-73707				3x100 + 2x250
ШР11-73708				5x250
ШР11-73709*				4x63 + 4x100
ШР11-73710*				2x63 + 4x100 + 2x250
ШР11-73711*				6x100 + 2x250

Примечание: * шкафы могут быть изготовлены с двумя рубильниками на вводе.

Таблица 9.12. Распределители ПР8501 для осветительных сетей

Характеристика ввода	Типы автоматов	Число автоматов							
		3	6	-	12	6	12	6	-
С зажимами на вводе	однополюсные ВА51-29	3	6	-	12	6	12	6	-
	трехполосные ВА51-31	1	-	-	-	2	2	4	-
С автоматом ввода ВА51-33	однополюсные ВА51-29	3	6	3	12	6	12	6	18
	трехполосные ВА51-31	-	-	1	-	2	2	4	-

Примечание: в (О-2 с.357) приведены распределители ПР8501 на номинальный ток до 250 А с автоматом ВА51-35 на вводе и другим числом однополюсных и трехполосных автоматов на выходе.

Таблица 9.13. Групповые щитки типа ЯОУ-8501 – ЯОУ-8508

Тип щитка	Тип пакетного выключателя	Автоматы на группах		Степень защиты	Способ установки
		тип	количество		
ЯОУ-8501	ПВ3-60	АЕ1031	6	IP54	открыто
ЯОУ-8502	ПВ3-100	АЕ1031	12		
ЯОУ-8503	ПВ3-100	АЕ2044	6		
ЯОУ-8504	ПВ3-100	АЕ2046	2		
ЯОУ-8505	ПВ3-60	АЕ1031	6	IP20	в нише
ЯОУ-8506	ПВ3-100	АЕ1031	12		
ЯОУ-8507	-	АЕ1031	6	IP20	в нише
ЯОУ-8508	-	АЕ1031	12		

Примечание: автоматы АЕ1031, АЕ2044 – однополюсные, АЕ2046 – трехполосные.

Таблица 9.14. Групповые щитки ОП, ОЦ, ОЦВ, УОЦВ

Тип щитка	Аппарат на вводе	Автоматы на группах		Способ защиты и исполнение	Способ установки
		тип	Число		
ОП-3	-	АЕ1000	3	IP20	открыто
ОП-6	-	АЕ1000	6		
ОП-9	-	АЕ1000	9		
ОП-12	-	АЕ1000	12		
ОЦ-6	зажимы	А63	6	IP20 УХЛ4	открыто
ОЦ-12	зажимы	А63	12		
ОЦВ-6А	АЕ2046	А3161	6		
ОЦВ-12А	АЕ2056	А3161	12		
УОЦВ-6А	АЕ2046	А3161	6		в нише
УОЦВ-12А	АЕ2056	А3161	12		

Таблица 9.15. Технические данные автоматов АЕ2000

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Вид расцепителя	$I_{н. расц.}, А$	$\frac{I_{с.о.}}{I_{н. расц.}}$	Пределы регулирования
АЕ2023	16	электромагнитный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6	12	-
АЕ2026		комбинированный	0,8; 1; 1,25; 1,6 2; 2,5; 3,15; 4; 5 6,3; 8; 10; 12,5; 16		
АЕ2043 АЕ2044	63	электромагнитный	10; 12,5; 16; 20 25; 31,5; 40; 50	12	-
АЕ2046		комбинированный	63		
АЕ2043М	63	электромагнитный	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3;	12	-
АЕ2046М		комбинированный	8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63		
АЕ2053М	100	электромагнитный	10; 12,5; 16; 20 25; 31,5; 40; 50	12	-
АЕ2056М		комбинированный	63; 80; 100		
АЕ2063	160	электромагнитный	16; 20; 25; 31,5 40; 50; 63; 80	12	-
АЕ2066		комбинированный	100; 125; 160		

Примечание: последняя цифра в обозначении типа выключателя расшифровывается так: 3 – трехполюсные с электромагнитными расцепителями; 4 или 6 – соответственно одно- или трехполюсные с электромагнитными и тепловыми расцепителями; М – модернизированные.

10. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ УСТАВОК РАСЦЕПИТЕЛЕЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Согласно (ПУЭ 3.1.9.-3.1.10.) сети напряжением до 1 кВ подразделяются на две группы:

- 1) защищаемые только от токов к.з.;
- 2) защищаемые от перегрузки и токов к.з.

Защита от токов к.з. обязательна для всех видов электропроводок силовых и осветительных сетей, а также отдельных электроприемников. Она должна действовать по возможности с минимальным временем отключения с обеспечением селективности (избирательности) с последующей смежной защитой. Она должна надежно отключать любые виды к.з. в самых удаленных токах защищаемой линии. В то же время аппараты защиты не должны отключать электроустановки при кратковременных перегрузках, вызванных пусковыми токами или пиками технологических нагрузок.

Защите от перегрузки (как и от токов к.з.) подлежат следующие сети:

- 1) сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными незащищенными изолированными проводами с горючей изоляцией и оболочкой;
- 2) осветительные сети в жилых и общественных зданиях и торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, а также в пожароопасных помещениях;
- 3) силовые сети в общественных зданиях, торговых помещениях и на промышленных предприятиях – только в случае, когда по условиям технологического процесса или режима работы сети может возникать длительная перегрузка проводов или кабелей;
- 4) все сети (осветительные и силовые) во взрывоопасных помещениях.

Защита от понижения напряжения применяется на всех крупных силовых ЭП, не допускающих включения или работы при пониженном напряжении.

Защиту от исчезновения напряжения применяют в тех случаях, когда требуется ограничить общую пусковую мощность при самозапуске электродвигателей.

Выбор уставок расцепителей выключателей.

При защите от токов к.з. должен быть определен ток отсечки.

Ток срабатывания отсечки (I_{CO}) выключателя отстраивается от пускового тока электродвигателя по выражению

$$I_{CO} \geq k_H \cdot I_{ПУСК},$$

где k_H – коэффициент надежности, принимаемый согласно рекомендации (Д-1 с.91) по табл. 10.1.

Таблица 10.1. Значения коэффициентов надежности k_H для расчета I_{CO}

Автоматы	А3700	ВА	"Электрон"		АВМ	ВА, АП-50, АЕ20, А3700
Расцепитель	полупроводниковый				электромагнитный	
	РП	БПР	РМТ	МТЗ-1		
k_H	1,5		1,6	2,2	1,8	2,1

При отсутствии самозапуска электродвигателей или для нагрузки без пусковых токов (например, электропечи сопротивления) k_H несколько отличается от указанных в табл. 51 и принимается для автоматов ВА, АП-50, АЕ20, А3700 равным 1,5; АВМ – 1,35; «Электрон» – 1,6.

$I_{ПУСК}$ – пусковой или пиковый ток, А. Для одного электродвигателя

$$I_{ПУСК} = k_{ПД} \cdot I_{Н.ЭД};$$

для группы электродвигателей, участвующих в самозапуске и присоединенных к общему узлу (сборке, шкафу или секции ТП),

$$I_{ПУСК} = \sum k_{ПД} \cdot I_{Н.ЭД};$$

для группы электроприемников и пуске наиболее мощного электродвигателя

$$I_{ПУСК} = k_{ПД} \cdot I_{Н.М.} + I_{Р-КИ} \cdot I_{Н.М.}.$$

Надежность срабатывания защиты определяется значением коэффициента чувствительности отсечки, который должен быть не менее

$$k_{Ч}^{(2)} = \frac{I_K^{(2)}}{I_{CO}} = \frac{0,867 \cdot I_K^{(3)}}{I_{CO}} \geq 1,4 - 1,5; \quad k_{Ч}^{(1)} = \frac{I_K^{(1)}}{I_{CO}} \geq 1,4 - 1,5,$$

где $I_K^{(2)}$ и $I_K^{(1)}$ – соответственно минимальный ток двухфазного и однофазного к.з. на выводах электродвигателя (электроприемника) или защищаемой сборке с учетом токоограничивающего действия электрической дуги.

При недостаточной чувствительности к двухфазным к.з. выполняют одно из следующих мероприятий: уточняют значение I_{CO} с учетом влияния сопротивления внешней сети на пусковой ток ЭД; применяют другой тип автоматического выключателя; увеличивают сечение кабеля (провода), но не более чем на 1-2 ступени.

При недостаточной чувствительности к однофазным к.з. дополнительно к указанным мерам выполняют: применяют другую конструкцию кабеля (с нулевой жилой большего сечения); прокладывают дополнительные зануляющие металлические связи.

При защите от перегрузки, если это требуется согласно (ПУЭ 3.1.10.), должен быть определен ток срабатывания от перегрузки ($I_{СП}$).

Ток срабатывания от перегрузки рассчитывается по формуле

$$I_{СП} \geq k_{ПД} \cdot I_{Н.РАСЦ.},$$

где $k_{ПД}$ – поправочный коэффициент, равный отношению k_H/k_B ; значения $k_{ПД}$ рекомендованы в (Д-1 с.94-96) и табл. 10.2, k_H – коэффициент надежности, учитывающий некоторый запас по току, неточности настройки и разброс срабатывания защиты; k_B – коэффициент возврата защиты, учитывающий возврат защиты после окончания пуска или самозапуска электродвигателя (значения k_H и k_B зависят от типа выключателя);

$I_{Н.РАСЦ.}$ – номинальный ток расцепителя, А, определяемый для индивидуального выключателя к электродвигателю по соотношению $I_{Н.РАСЦ.} \geq I_{Н.ЭД}$ и для выключателя питания группы электроприемников (сборки) по соотношению $I_{Н.РАСЦ.} \geq I_{Р.}$

Наилучшая защита от перегрузки обеспечивается, если удастся подобрать выключатель, имеющий $I_{Н.РАСЦ} = I_{Н.ЭД}$.

Таблица 10.2. Значения поправочных коэффициентов $k_{П}$ для расчета $I_{СП}$

Автоматы	А3700	ВА	«Электрон»		АВМ	ВА	АП-50	АЕ20, А3700
Расцепитель	полупроводниковый				электромагнитный			
	РП	БПР	РМТ	МТЗ-1				
$k_{П}$	1,3-1,36	1,23-1,36	1,69-1,99		2-2,4	1,2-1,35	1,25	1,15

Примечание: чем меньше $I_{Н.РАСЦ}$ автомата одного типа, тем больше берется $k_{П}$ из указанных пределов.

Поскольку зависимые (тепловые) расцепители автоматических выключателей АВМ и «Электрон» не могут эффективно защищать электродвигатель от перегрузки, их используют как резервную защиту. Защита от перегрузки осуществляется либо с помощью тепловых реле, устанавливаемых в двух фазах (при наличии магнитных пускателей или контакторов), либо с помощью выносной релейной защиты.

Выбор времени срабатывания.

Время срабатывания от перегрузки принимается из условия несрабатывания защиты при пуске или самозапуске ЭД:

$$t_{С.П} \geq (1,5 - 2) \cdot t_{ПУСК},$$

где $t_{С.П}$ – время срабатывания защиты при токе, равном пусковому; $t_{ПУСК}$ – длительность пуска или самозапуска.

Время срабатывания защиты от перегрузки при токе $6 \cdot I_{Н.РАСЦ}$ регулируется для автоматов с полупроводниковыми расцепителями А3700, ВА53, «Электрон» в пределах от 4 до 16 с, для АВМ от 2 до 4 с. Для автоматов с комбинированным расцепителем оно не регулируется и составляет 8-20 с в зависимости от $I_{Н.РАСЦ}$. Длительность пуска ЭД при легких условиях пуска составляет до 2 с, при тяжелых – до 5-10 с. Таким образом, несрабатывание защиты от перегрузки обеспечивается для всех автоматов, кроме АВМ, если он установлен в цепи ЭД с тяжелым пуском.

Плавкие предохранители.

Предохранители наряду с автоматами являются защитными аппаратами от токов к.з.

В промышленности применяются предохранители типа ПН-2, ПР-2, НПН, ПРС.

Номинальный ток плавкой вставки (ближайшее большее стандартное значение по шкале плавких вставок) для этих предохранителей должен удовлетворять следующим условиям и выбираться наибольшим из двух полученных величин:

$$I_B \geq I_P, \quad I_B \geq \frac{I_{ПУСК}}{\alpha},$$

где $I_{ПУСК}$ – пусковой или пиковый кратковременный ток линии, питающей одиночный ЭД или группу ЭД; α – коэффициент, величина которого зависит от режима перегрузки. Для защиты ЭД с к.з. ротором и легком пуске длительностью 2-4 с принимается $\alpha = 2,5$ (электродвигатели большинства металлообрабатывающих станков, вентиляторов, насосов и т.п.). Для защиты ЭД с тяжелыми условиями пуска длительностью около 10 с, а также при частых пусках (более 15 в час) $\alpha = 1,6-2$ (ЭД кранов, центрифуг, дробилок и т.п.). Для особо ответственных ЭП, ложное отключение которых недопустимо, принимается также $\alpha = 1,6-2$. При защите ЭД с фазным ротором - $\alpha = 0,8-1$.

Для защиты ответвления, идущего к сварочному аппарату, ток плавкой вставки определяют из соотношения

$$I_B \geq 1,2 \cdot I_{ПВ} \cdot \sqrt{ПВ} = 1,2 \cdot I_H,$$

где $I_{ПВ}$ – номинальный паспортный ток сварочного аппарата при продолжительности включения ПВ в долях единицы, А; I_H – номинальный ток при ПВ = 1, А.

Для защиты ответвлений к прочим электроприемникам, не имеющим пиковых токов (электропечи сопротивления, выпрямители и т.п.), величина тока плавкой вставки выбирается из условий $I_B \geq I_H$, где I_H – номинальный ток установки.

Номинальный ток плавкой вставки для предохранителей, устанавливаемых со стороны НН понижающего трансформатора, выбирают по номинальному току трансформатора $I_B = (1,4 \dots 1,8) \cdot I_{HT}$.

Селективность (избирательность) защиты обеспечивается подбором плавких вставок таким образом, чтобы номинальные токи стандартных плавких вставок одноступенчатых предохранителей на двух смежных участках, расположенных в сети последовательно друг за другом, различались между собой не менее чем на две ступени (О-2 с.163). Для разнотипных предохранителей селективность проверяется сопоставлением их защитных характеристик на карте селективности, выполненной в одинаковом масштабе по осям в относительных единицах.

Селективность обеспечивается, если выполняются условия: при учете 25%-ого разброса $t_b > 1,7 \cdot t_m$; при учете 50%-ого разброса $t_b > 3 \cdot t_m$, где t_b и t_m – время плавления (определенное по защитным характеристикам) большей и меньшей плавких вставок при токе к.з.

Селективность предохранителей и автоматических выключателей проверяется путем сопоставления защитных характеристик.

Проверка чувствительности защиты предохранителями при к.з. выполняется по соотношениям:

$$\text{для невзрывоопасной среды } \frac{I_K^{(1)}}{I_{H.B}} \geq 3; \quad \text{для взрывоопасной - } \frac{I_K^{(1)}}{I_{H.B}} \geq 4,$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного к.з., А; $I_{H.B}$ – номинальный ток плавкой вставки, А.

При однофазных к.з. плавкая вставка отключает только одну фазу, что приводит к опасному режиму работы ЭД на двух фазах.

Плавкие вставки не защищают двигатели от перегрузок, поэтому требуется дополнительно защита с помощью тепловых реле магнитных пускателей.

Проверка выбранных сечений проводников по условию обеспечения защитой.

Выполняя расчеты защит от токов к.з. необходимо помнить, что для снижения времени срабатывания, обеспечения надежности и правильности действия защиты необходимо во всех случаях выбирать номинальные токи плавких вставок предохранителей и уставок автоматических выключателей по возможности минимальными, однако, такими, которые не отключали бы установку (линию) при нормальных для нее кратковременных перегрузках (пусковых токах пиках технологических нагрузок, токах при самозапусках).

Предварительно выбранные сечения проводников (проводов, кабелей) по условию нагрева и по потере напряжения должны быть проверены согласно (ПУЭ 3.1.9.) на выполнении условия защиты проводников от перегрева токами к.з. Необходимо рассчитать, чтобы уставки аппаратов защиты по отношению к допустимым длительным токовым нагрузкам проводников имели кратность не более указанных в табл. 10.3 значений. Выполнение этого условия гарантирует в случае к.з. перегорание плавкой вставки или срабатывание выключателя раньше, чем провод или кабель нагреется до опасной температуры и выйдет из строя. Если это условие не выполняется, то выбирают проводник с большей площадью сечения и с большим допустимым током.

При выполнении расчетов защит от перегрузки все рассуждения, приведенные выше остаются справедливыми. Уставки аппаратов защиты по отношению к допустимым длительным токовым нагрузкам проводников должны иметь кратность не более указанных в табл. 10.5 значений. Кроме того, во взрывоопасных зонах проводники ответвлений к электродвигателям с к.з. ротором должны быть выбраны так, чтобы их допустимая длительная токовая нагрузка состав

ляла не менее 125% номинального тока электродвигателя. Кратности отношений не должны превышать указанных в табл. 10.4 значений.

Таблица 10.3. Предельно допустимое (не более) соотношение между уставкой I_3 аппарата защиты и допустимой длительной токовой нагрузкой $I_{доп}$ проводника, защищаемого от токов к.з.

I_3 и тип защитного аппарата с его характеристикой	$\frac{I_3}{I_{доп}} \cdot 100\% \leq$
1. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, $I_{н.в.}$	300
2. Ток уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), $I_{с.о.}$	450
3. Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки), $I_{н.расц.}$	100
4. Ток трогания (срабатывания) расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой, $I_{с.о.}$	125

Примечание: в случаях, когда требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника, определенная по табл. 10.3 и табл. 10.5, не совпадает с данными таблиц допустимых нагрузок ПУЭ, допускается выбор проводника ближайшего меньшего сечения, но не менее, чем это требуется по расчетному току.

Если в сетях, защищаемых только от токов к.з., уставки аппаратов защиты по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, выбранных по расчетному току линии, имеют кратность не более, чем указано в табл. 10.3, допускается не делать расчетную проверку согласно ПУЭ 1.7.79. и 7.3.139. на кратность тока короткого замыкания. Если же требования табл. 10.3 не удовлетворяются, то следует проверить надежность срабатывания защиты при к.з. расчетным путем. Для надежного срабатывания защиты в ЭУ до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью необходимо выполнение условия срабатывания при однофазном к.з. на корпус или на нулевой защитный проводник по формуле

$$I_K^{(1)} \geq k \cdot I_{А.з.},$$

где $I_K^{(1)}$ - ток однофазного к.з. в конце защищаемого участка сети, А; $I_{А.з.}$ - номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя или ток уставки расцепителя автомата, А; k - коэффициент кратности, принимаемый по табл. 10.4.

Таблица 10.4. Наименьшая допустимая кратность тока к.з.

Ток аппарата защиты $I_{А.з.}$, А	k - кратность тока к.з.	
	помещения, кроме взрывоопасных	помещения со взрывоопасной средой
Номинальный ток плавкой вставки предохранителя	3	4
Номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставки регулируемого расцепителя автомата, имеющего обратную зависимость от тока характеристики	3	6
Ток уставки (отсечки) автомата, имеющего только электромагнитный расцепитель	1,4 для автоматов с $I_{н.а.} < 100$ А и 1,25 для автоматов с $I_{н.а.} \geq 100$ А, где $I_{н.а.}$ - номинальный ток автомата	

Таблица 10.5. Предельно допустимое (не более) соотношение между уставкой I_3 аппарата защиты и допустимой длительной токовой нагрузкой $I_{доп}$ проводника, защищаемого от перегрузки

Тип проводника, материал изоляции	I_3 и тип защитного аппарата с его характеристикой	$\frac{I_3}{I_{доп}} \cdot 100\% \leq$
Проводники с ПВХ, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией во взрыво- и пожароопасных зонах	1. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{н.в.} \leq 0,8 \cdot I_{доп}$	80
	2. Ток уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку) $I_{с.о.} \leq 0,8 \cdot I_{доп}$	

То же, но в невзрывоопасных зонах помещений промпредприятий (допускается)	1. То же $I_{н.в.} \leq I_{доп}$ 2. То же $I_{с.о.} \leq I_{доп}$	100
Кабели с бумажной изоляцией	1. То же $I_{н.в.} \leq I_{доп}$ 2. То же $I_{с.о.} \leq I_{доп}$	100
Проводники (провода и кабели) всех марок	3. Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратной зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия и отсутствия отсечки) $I_{н.расц.} \leq I_{доп.}$	100
Проводники с ПВХ, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	4. Ток трогания (срабатывания) расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой $I_{с.п.} \leq I_{доп}$	100
Кабели с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена	4. То же $I_{с.п.} \leq 1,25 \cdot I_{доп.}$	125

Проверка на динамическую устойчивость.

Ток динамической стойкости определяется ударным током, который может быть пущен через коммутационный аппарат. Проверка на динамическую устойчивость осуществляется по выражению

$$I_{дин} \geq i_{уд},$$

где $I_{дин}$ - ток динамической стойкости коммутационного аппарата, кА, определяется по паспортным данным коммутационного аппарата или по выражению

$$I_{дин} = n \cdot I_{ПКС},$$

где $I_{ПКС}$ - предельная коммутационная способность (приводится в паспортных данных аппарата) n - коэффициент, характеризующий отношение наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности аппарата, приводится в табл. 10.6.

Таблица 10.6.

Значение тока $I_{ПКС}$ - предельная коммутационная способность, А	n
До 1500	1,41
Свыше 1500 до 3000	1,42
Свыше 3000 до 4500	1,47
Свыше 4500 до 6000	1,53
Свыше 6000 до 10000	1,7
Свыше 10000 до 20000	2,0
Свыше 20000 до 50000	2,1
Свыше 50000 и более	2,2

ПРИМЕР выбора коммутационно - защитной аппаратуры.

Предварительный выбор коммутационной и защитной аппаратуры.

Выбор автоматических выключателей на КТП.

Для защиты вводов НН КТП используются автоматические выключатели серии ВА55 с полупроводниковыми максимальными расцепителями, для защиты отходящих линий - автоматические выключатели серии ВА51 имеющие комбинированный расцепитель.

Пример выбора автомата для линии КТП-СПЗ. $I_p=192$ А.

Предварительный выбор автоматических выключателей производится по следующим условиям:

1) Защита от токов КЗ и перегрузок:

$$I_{нв} \geq I_p, \quad 250 > 192,$$

где $I_{нв}$ - номинальный ток выключателя, А; I_p - расчетный ток защищаемой линии, А.

$$I_{н.расц.} \geq I_p, \quad 200 > 192,$$

где $I_{н.расц.}$ - номинальный ток расцепителя выключателя, А,

$$I_{ср.р} \geq k_n \cdot I_{кр},$$

где $I_{ср.р}$ - ток срабатывания расцепителя, А; k_n - коэффициент надежности, о.е.; $I_{кр} = I_{пуск}$ - для ответвлений и одиночных электроприёмников; $I_{кр} = I_{тик}$ - для группы электроприёмников.

2) Согласование выбранных сечений кабеля с уставками автоматов:

$$I_{доп.} \geq K_3 \cdot I_3, \quad 216,2 > 1 \times 200 = 200,$$

где $I_{доп.}$ - допустимый ток кабеля, А; K_3 - кратность допустимого тока проводника току аппарата защиты, равная 1 для ВА51 и 1,25 для ВА55, о.е.; $I_3 = I_{н.расц.}$ для ВА51; $I_3 = I_{со}$ для ВА55.

Выбор остальных автоматов аналогичен, результаты выбора представлены в таблице.

Таблица. Выбор автоматов на КТП

Отходящая линия	I_p , А	$I_{нв}$, А	$I_{н.расц.}$, А	$I_{доп.}$, А	$K_3 \cdot I_3$, А	Тип автомата
КТП-СПЗ	192,00	250	200	216,2	1x200	ВА51-35

Выбор вводного автомата на КТП производится по номинальному току трансформатора с учётом перегрузки.

Номинальный ток трансформатора с учётом перегрузки, А,

$$I_T^{наг} = \frac{1,3 \cdot S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad I_T^{наг} = \frac{1,3 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1244,33.$$

Выбирается автоматический выключатель типа ВА55-41 с $I_{н.расц.} = 1600$ А.

Выбор секционного автомата на КТП производится по номинальному току трансформатора, А,

$$I_{Т.ном.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,18.$$

Выбирается автоматический выключатель типа ВА53-41 с $I_{н.расц.} = 1000$ А.

Выбор автомата на КТП на линию КТП - КУ, А.

Для конденсаторной установки, устанавливаемой на одну секцию $Q_{ку} = 300$ квар, А,

$$I_3 = 1,3 \cdot \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 592,5.$$

Выбираются автоматические выключатели типа ВА51-39 с $I_{н.расц.} = 630$ А.

Автоматические выключатели распределительной сети выбираются аналогично.

Окончательный выбор сетей и коммутационно-защитной аппаратуры.

Пример выбора вводного автомата QF1 ВА55-41:

Окончательный выбор автоматических выключателей производится по следующим условиям:

1) Чувствительность к двухфазному току КЗ:

$$K_q^{(2)} = \frac{I_{н0 \min}^{(2)}}{I_{ан.з}} \geq 1,4-1,5, \quad K_q^{(2)} = \frac{10,17 \cdot 10^3}{1600 \cdot 2} = 3,18 > 1,4-1,5,$$

где $I_{ан.з} = I_{со}$ - для автоматов.

2) Чувствительность к однофазному току КЗ:

$$K_q^{(1)} = \frac{I_{н0 \min}^{(1)}}{I_{ан.з}} \geq 1,4-1,5, \quad K_q^{(1)} = \frac{9,82 \cdot 10^3}{2 \cdot 1600} = 3,07 > 1,4-1,5,$$

3) По отключающей способности:

$$I_{ПКС} \geq I_{н0 \max}^{(3)}, \quad 31 > 13,15,$$

где $I_{ПКС}$ - предельная коммутационная способность аппарата, кА;

4) На динамическую устойчивость:

$$I_{дин} \geq i_{уд \max}, \quad 2,1 \cdot 31 = 65,1 > 19,18,$$

где $I_{дин}$ - ток динамической устойчивости аппарата, кА.

5) Срабатывание при однофазном КЗ на корпус или нулевой защитный проводник:

$$I_{n0 \min}^{(1)} \geq k \cdot I_{c.o.},$$

где k – коэффициент кратности, о.е.

Выбор остальных аппаратов аналогичен, результаты сведены в таблицу.

В распределительной сети автоматы проверяются по чувствительности по току к.з. в наиболее электрически удаленной точке, в этом случае $I_{ПО \min}^{(2)}$, $I_{ПО \min}^{(1)}$ будут минимальными.

Таблица. Выбор автоматических выключателей

Автомат	$I_{c.o.}, A$	$I_{ПО \min}^{(2)}$ А	$K_{\chi}^{(2)}$	$I_{ПО \min}^{(1)}$ А	$K_{\chi}^{(1)}$	$I_{ПО \max}^{(3)}$ кА	$I_{ПКС}$ кА	$I_{дист.}$ кА	$i_{уд \max}$ кА
QF2:КТП-СПЗ (ВА 51-35)	12x200	1080	0,45	950	0,40	13,15	15	2x15=30	19,18
QF3:КТП-СП2 (ВА 51-35)	12x125	3140	2,09	2330	1,55	13,15	15	2x15=30	19,18
QF4:КТП-СП13(ВА 51-35)	12x200	4890	2,04	3050	1,27	13,15	15	2x15=30	19,18
QF5:КТП-СП12(ВА 51-35)	12x160	5410	2,82	3500	1,82	13,15	15	2x15=30	19,18
QF6:КТП-СП10(ВА 51-35)	12x200	3070	1,28	2110	0,88	13,15	15	2x15=30	19,18
QF7:КТП-СП7(ВА 51-35)	7x80	740	1,32	640	1,14	13,15	15	2x15=30	19,18
QF9:КТП-КУ(ВА 51-39)	10x630	-	-	-	-	13,15	35	2,1x35=74	19,18
QF10:КТП-МЩО(ВА51-35)	10x80	-	-	-	-	13,15	15	2x15=30	19,18

Выключатели QF2, QF4, QF6, QF7 не проходят по чувствительности. Для них выбираются полупроводниковые выключатели с меньшим током отсечки ВА 53-37.

Таблица. Полупроводниковые выключатели на КТП

Автомат	$I_{c.o.}, A$	$I_{ПО \min}^{(2)}, A$	$K_{\chi}^{(2)}$	$I_{ПО \min}^{(1)}$ А	$K_{\chi}^{(1)}$	$I_{ПО \max}^{(3)}$ кА	$I_{ПКС}$ кА	$I_{дист.}, кА$	$i_{уд \max}, кА$
QF2:КТП-СПЗ (ВА 53-37)	2x250	1080	2,16	950	1,90	13,15	20	2,1x20=42	19,18
QF4:КТП-СП13(ВА 53-37)	3x250	4890	6,52	3050	4,07	13,15	20	2,1x20=42	19,18
QF6:КТП-СП10(ВА 53-37)	3x250	3070	4,09	2110	2,81	13,15	20	2,1x20=42	19,18
QF7:КТП-СП7(ВА 53-37)	2x160	740	2,31	640	2,00	13,15	15	2,1x20=42	19,18

11. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Графическая часть курсового проекта состоит из чертежей (примеры выполнения чертежей приведены в приложении П20):

1. Принципиальная схема КТП. Чертится по ГОСТ 21.613-88, см. рис. 23, 24 и приложение П20;
2. План цеха с питающими силовыми сетями. Чертится по ГОСТ 21.614-88, см. приложение П20;
3. План отделения (участка цеха) с силовыми распределительными сетями. Чертится по ГОСТ 21.613-88, см. рис. 19, 20 и приложение П20;
4. План отделения (участка цеха) с групповыми осветительными сетями и осветительными приборами, аварийное освещение. Чертится по ГОСТ 21.608-84, см. рис. 21, 22 и приложение П20;
5. Принципиальная схема участка распределительной сети. Чертится по ГОСТ 21.613-88, см. рис. 15, 16, 17, 18 и приложение П20.

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (вазда) обозначение тип, А, расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети	Пусковой аппарат обозначение тип, А, расцепитель или плавкая вставка, А, уставка теплового реле, А	Участок сети 2	Кабель, провод				Труба		Электроприемник		
					Обозначение	Марка	Кол. жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Руст или Рном, кв	Темп или Туст, А
ПР8501 380/220 В	Присоединение без выключателя			1	АВВГ	3×160+1×95	13	-	-	-	103,5	197,5	Ввод от ЦРА4-630
	ВА52-31 100 100	Комплектно		1	АПВ	3×50+1×25	3,0	-	2,5	2	30,0	83,4	Ванна выщелачивания №1
	ВА52-31 100 100	Комплектно		1	АПВ	3(1×50)+1×25	4,5	-	4,0	2	30,0	83,4	Ванна выщелачивания №2
	ВА52-31 100 100	Комплектно		1	АПВ	3(1×50)+1×25	6,0	-	5,5	2	30,0	83,4	Ванна выщелачивания №3
	ВА52-31 100 100	Комплектно		1	АПВ	3(1×50)+1×25	7,5	-	7,0	2	30,0	83,4	Ванна выщелачивания №4
	ВА52-31 100 100	Комплектно		1	АПВ	3(1×50)+1×25	9,0	-	8,5	2	30,0	83,4	Ванна выщелачивания №5
	ВА52-31 100 16	Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	5,5	-	5,0	3	2,0	5,06 25,3	Решетка для выщелачивания №6
		Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	6,5	-	6,0	3	2,0	5,06 25,3	Решетка для выщелачивания №7
	ВА52-31 100 16	Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	7,5	-	7,0	5	2,0	5,20 26,0	Установка для отделения керамики №8
		Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	2,0	-	1,5	5	2,0	5,20 26,0	Установка для отделения керамики №9
ПР8501 380/220 В	Присоединение без выключателя			1	АВВГ	3×50+1×25	7,0	-	-	-	58,2	96,2	Ввод от ЦМА4-1250
	ВА52-31 100 40	Комплектно		1	АПВ	4(1×10)	15,5	-	15,0	7	7,8	18,2 91,2	Пресс кривошипный №11
		Комплектно		1	АПВ	4(1×10)	8,5	-	8,0	6	8,0	18,7 93,5	Пресс кривошипный №12
	ВА52-31 100 16	Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	10,0	-	9,5	11	3,0	5,7 28,5	Барaban для приготовления футеровочной смеси №13
	ВА52-31 100 80	Комплектно		1	АПВ	3(1×35)+1×25	6,0	-	5,5	8	30,0	70,1 350,6	Бегуны для приготовления формовочной смеси №14
	ВА52-31 100 80	Комплектно		1	АПВ	3(1×35)+1×25	3,0	-	2,5	8	30,0	70,1 350,6	Бегуны для приготовления формовочной смеси №15
	ВА52-31 100 16	Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	12,0	-	11,5	9	1,5	2,8 14,2	Сито для просеивания песка №16
	ВА52-31 100 16	Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	13,5	-	13,0	10	6,0	9,1	Комплекс сушки песка №17
ВА52-31 100 16	Комплектно		1	АПВ	4(1×2,5)	6,0	-	5,5	10	6,0	9,1	Комплекс сушки песка №18	

Рисунок 15. Пример выполнения принципиальной схемы распределительной сети

Магистраль	Участок сети 1	Аппарат защиты линии (ячейка) обозначения: тип, номер, А; распределитель или плавкая вставка, А	Участок сети 2	Аппарат защиты в распределительное устройство или пусковой выключатель обозначения: тип, номер, А; распределитель или плавкая вставка, А; установка тепловое реле, А	Участок сети 3	Кабель, провод				Труба				Наименование, тип, обозначение чертежа, принципиальной схемы				
						Участок сети	Обозначение	Марка	Кол. жил и сечения	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение		Угол поворота, градусы	Итого или номер луска А		
																	Участок сети	Обозначение
МГ 1 ДУ А15 ИМА 4 1000А 250 1220В	-	-	-	-	-	1	к269	АВВ	4(1x150)	100	-	-	-	300	211	Блок ст КТП1 Лист 4		
						2												
						3												
	-	-	-	-	-	-	1	к270	АПВ	3(1x120)+ +1x70	150	П270 50	а	307	40	75	Распределительный пункт ПР24Г-2200 31 XXXXX-2М2 Лист 7	
							2											
							3											
-	-	-	387Ш комплектно с механизмом	-	-	2	к271	АПВ	3(1x120)+ +1x70	300	357-П1 50	в	307	75	150 1050	Газодувка 741 -		
						3												
						3												
ОЯ 1 А3726Ф 250 100	-	-	-	ЯВ3-31-1 100	-	1	к271	АПВ	3(1x50)+ +1x25	60	-	-	307	60	21	Распределительный шинный шкаф ШРА XXXXX ЭМ2 Лист 5		
						2	к272	АПВ	3(1x50)+ +1x25	90	-	-						
						3	к273	АПВ	3(1x50)+ +1x25	100	-	-						
на МГ 1 А3726Ф 020 250	-	-	-	152Ш комплектно с механизмом	-	2	152-П1А 152-П1Б	АВВГ	3(3x70)+ +(1x25)	100	-	-	152	144	230	Станок трубогибочный 105 -		
						3												
						3												
на МГ 1 А3726Ф 030 250	-	-	-	ОЯ 2 А3726Ф 250 250	-	2	к274	АПВ	3(1x70)+ +(1x35)	50	-	-	307	230	172	Распределительный шинный шкаф ШРА XXXXX ЭМ2 Лист 9		
						3	к275	АВВГ	3(1x70)+ +(1x25)	30	-	-						
						3												

Рисунок 16. Пример выполнения принципиальной схемы питающей сети

Имя и подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Принципиальная схема распределительной сети (по ПР-06-13-84)	Формы		Материал		Кач. ОТП							
				Ф630-87											
Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (каждое обозначение, тип; блок А, распределитель или плавкая вставка, А	Пусковой аппарат обозначения; блок А; распределитель или плавкая вставка, А установка тиклового реле, А	Кабель, провод				Труба		Электроприемник						
			Обозначение	Марка	Кол. жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Руч или РКОМ кВт	Источ или блок Пуск А	Наименование, тип, обозначение чертежа, принципиальной схемы			
МГ2 Б7 Г7 ШРА 4 400А 350/220В	---	---	1	к273	АПВ	3(1x50)+ 4(1x25)	---	---	---	---	---	---	---	---	Ввод от МГ1 ШВА 4 XXXXX-316 1 Лист 5
			2	---	---	---	---								
А3718Ф 160 40	---	43-ЯУ1 ЯБ110-3474УХЛ4 31.5-25	1	45-н1	АПВ	3(1x4)	10	45-н1.20	3	45	10	---	---	---	Вентилятор приточный В45 Лист 10
			2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	46-КМ1 ПМЕ 122	1	46-н1	АПВ	3(1x2,5)	15	---	---	46	2.2	---	---	---	Вентилятор вытяжной В46 Лист 11
			2	46-н2	АПВ	3(1x2,5)	5	---	---	---	---	---	---	---	---
А3718Ф 160 25	---	48-Х РШ-П-2-0-1Р-01-10 10	1	48-н1	АПВ	3(1x2,5)	10	---	---	48	---	10	---	---	Кнопка ПКЕ 212-2
			2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
А3718Ф 160 25	---	47-ЯУ1 ЯБ124-2274УХЛ4 -2874УХЛ4 1фидер 2-1.5	1	47-н1	АПВ	3(1x2,5)	12	---	---	47	---	---	---	---	Насос
			2	47-н2	АПВ	3(1x2,5)	9	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	2 фидер 3-4	---	---	---	---	---	---	---	46	1.1	---	---	---	Насос
			2	48-н1	АПВ	3(1x2,5)	9	---	---	---	---	---	---	---	---
А3730Ф 630 400	---	---	1	к270	АПВ	3(1x120)+ 4(1x70)	---	---	---	---	40	75	---	---	---
			2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2 А3718Ф 160 60	---	43-КМ1 ПМЕ 432	1	43-н1	АВВГ	1(3x25)+ 4(1x16)	25	---	---	---	---	---	---	---	---
			2	43-н2	АВВГ	1(3x16)+ 4(1x10)	2	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	43-ЯШ1 ЯВЭЦ-31	---	---	---	---	---	---	---	43	91кВА	ΔU=3%	---	---	Преобразователь сварочный 139
			2	43-н3	КРПТ	1(3x25)+ 4(1x16)	7	---	---	---	---	---	---	---	---
3 АЕ2546 63 16	---	44-КМ1 ПМЕ 122	1	44-н1	АПВ	3(1x2,5)	15	---	---	44	2.2	---	---	---	Вентилятор вытяжной В44 Лист 12
			2	44-н2	АПВ	3(1x2,5)	5	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	51-ОЕ1 АВ508-2МТ 63	1	51-н1	АВВГ	1(2x2,5)	10	---	---	51	0.065	---	---	---	Зеркала ПЕ-51
			2	51-н2	АЭВГ	1(2x2,5)	5	---	---	---	---	---	---	---	---
А3718Ф 160 40	---	158У ЯБ410-2674УХЛ4	1	15-н1	АПВ	1(10x2,5)	8	---	---	---	---	---	---	---	---
			2	15-н2	АКВВГ	4(1x2,5)	11	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	15ЯК	---	---	---	---	---	---	---	15	2.0	---	---	---	Двигатель электрический XXXXXX-3М1 Лист 18
			2	15-н3	АПВ	3(1x2,5)	6	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	18-ВК	---	---	---	---	Коробок конечных включателей задвижки
			2	15-н4	АПВ	10(1x2,5)	20	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	15-ВВ1	---	---	---	---	Кнопка местного управления задвижкой
			2	15-н5	АПВ	7(1x2,5)	14	---	---	---	---	---	---	---	---

Рисунок 17. Пример выполнения принципиальной схемы распределительной сети

15 35 10 10	Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (вывода); обозначение; тип; Inom, A; расцепитель или плавкая вставка, A;	Участок сети 1	Пусковой аппарат обозначение; тип; Inom, A; расцепитель или плавкая вставка, A; уставка теплового реле, A;	Участок сети 2	Кабель, провод				Труба		Электроприемник				
						Обозначение	Марка	Кол. жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Rуст или Rном, кВт	Iрасч или Iном, А	Наименование, тип, обозначение чертежа принципиальной схемы	
	25	33	5	33	5	5	16	13	25	13	23	13	16	12	12	35
	287															

Рисунок 18. Размеры принципиальной схемы распределительной сети

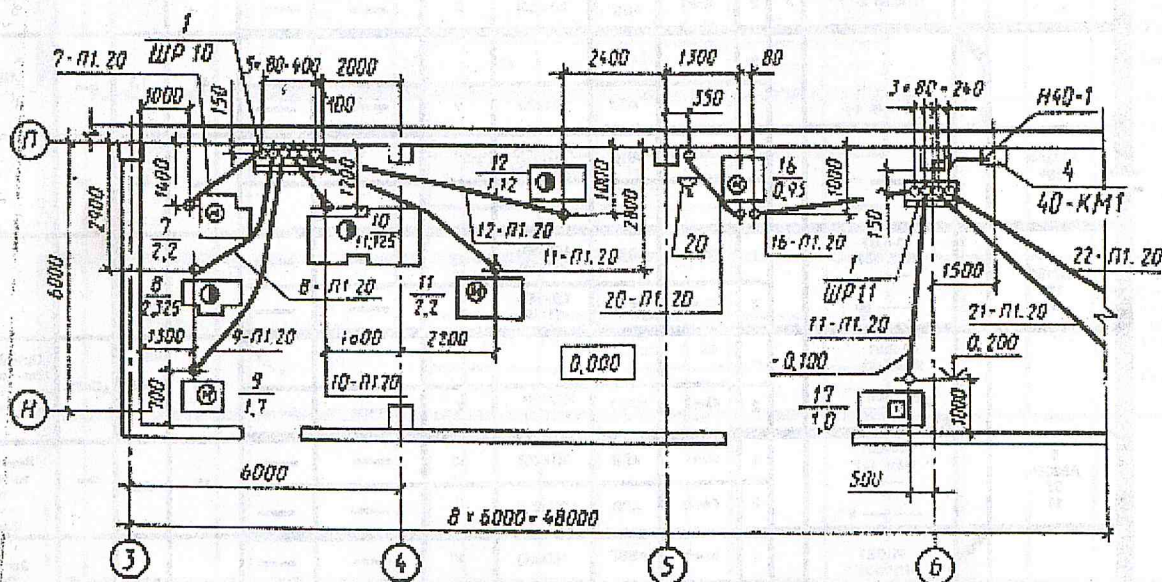


Рисунок 19. Пример выполнения участка распределительной сети

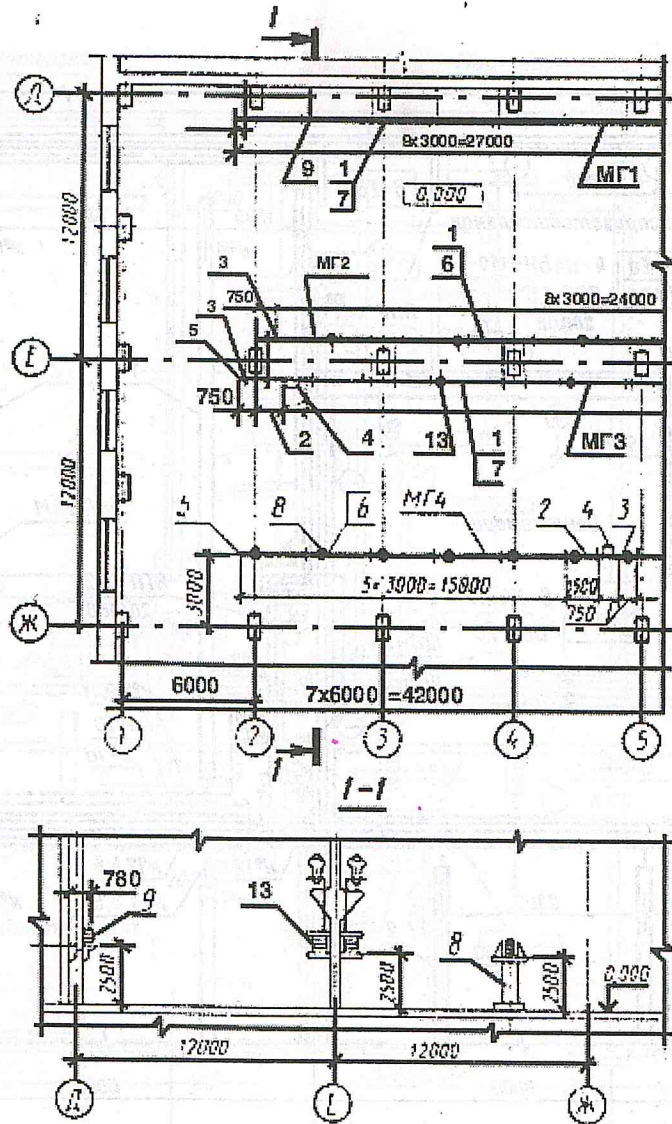


Рисунок 20. План расположения оборудования и прокладки силовых распределительных сетей

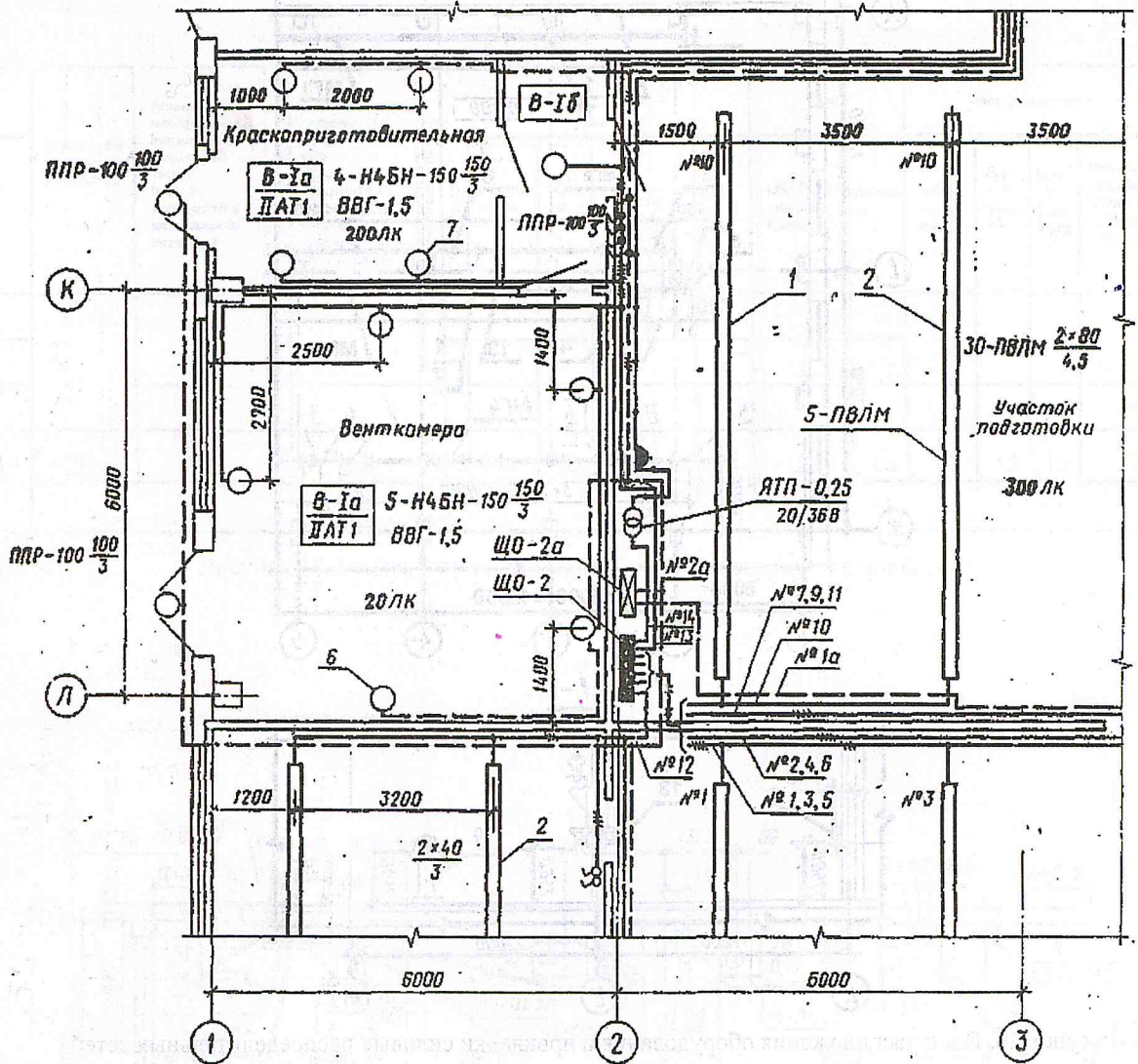


Рисунок 21. План расположения и прокладки электрических осветительных сетей для производственного здания

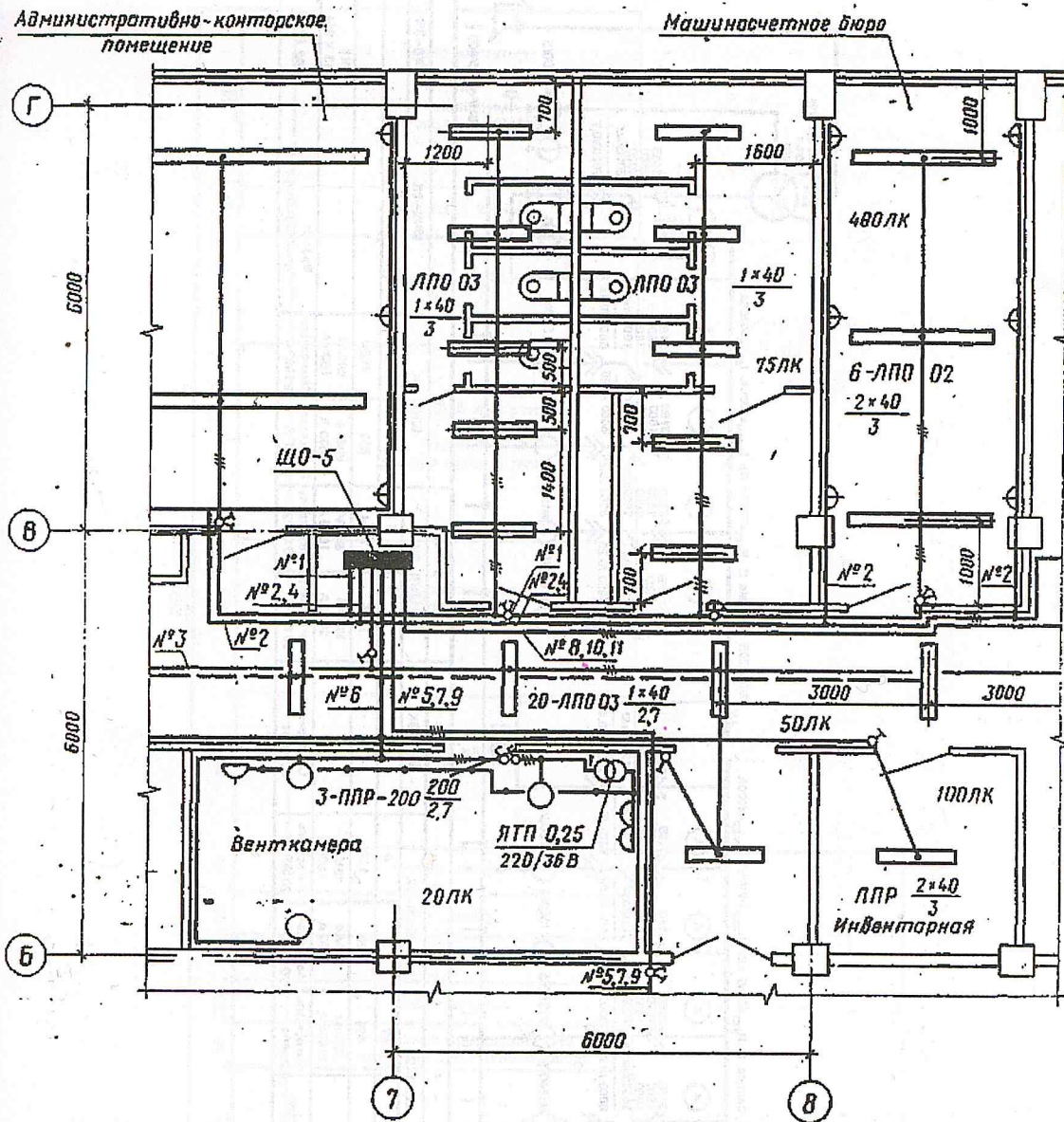


Рисунок 22. План расположения и прокладки электрических осветительных сетей для общественного здания

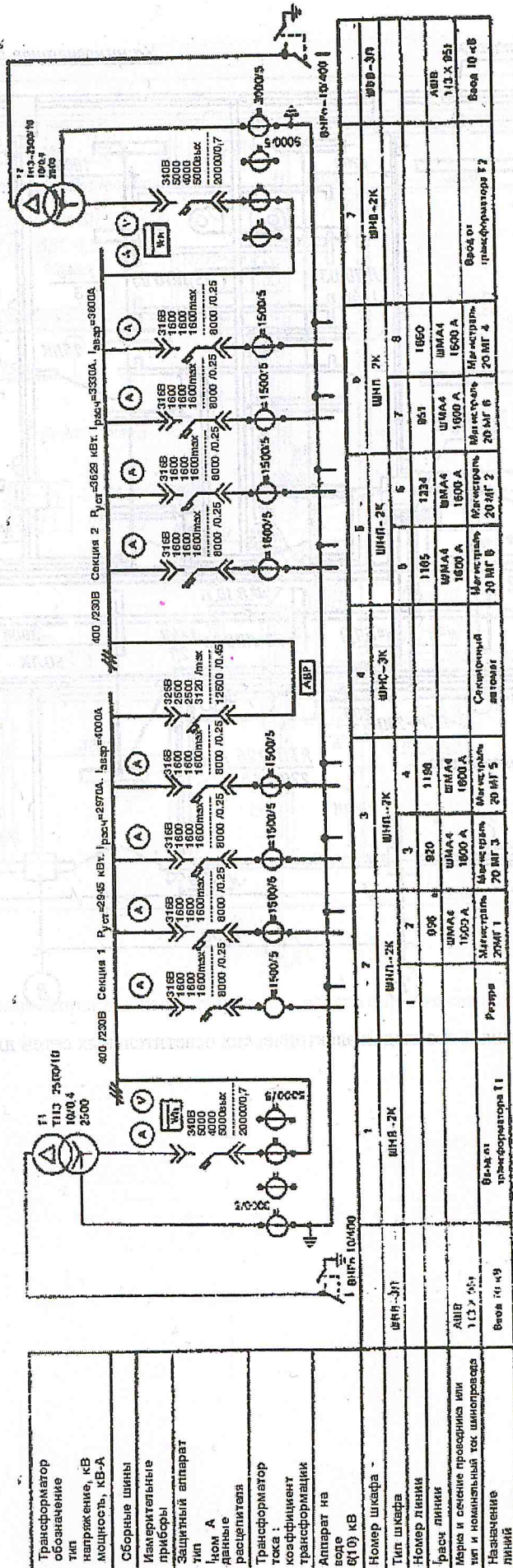


Рисунок 23. Пример принципиальной схемы КТП

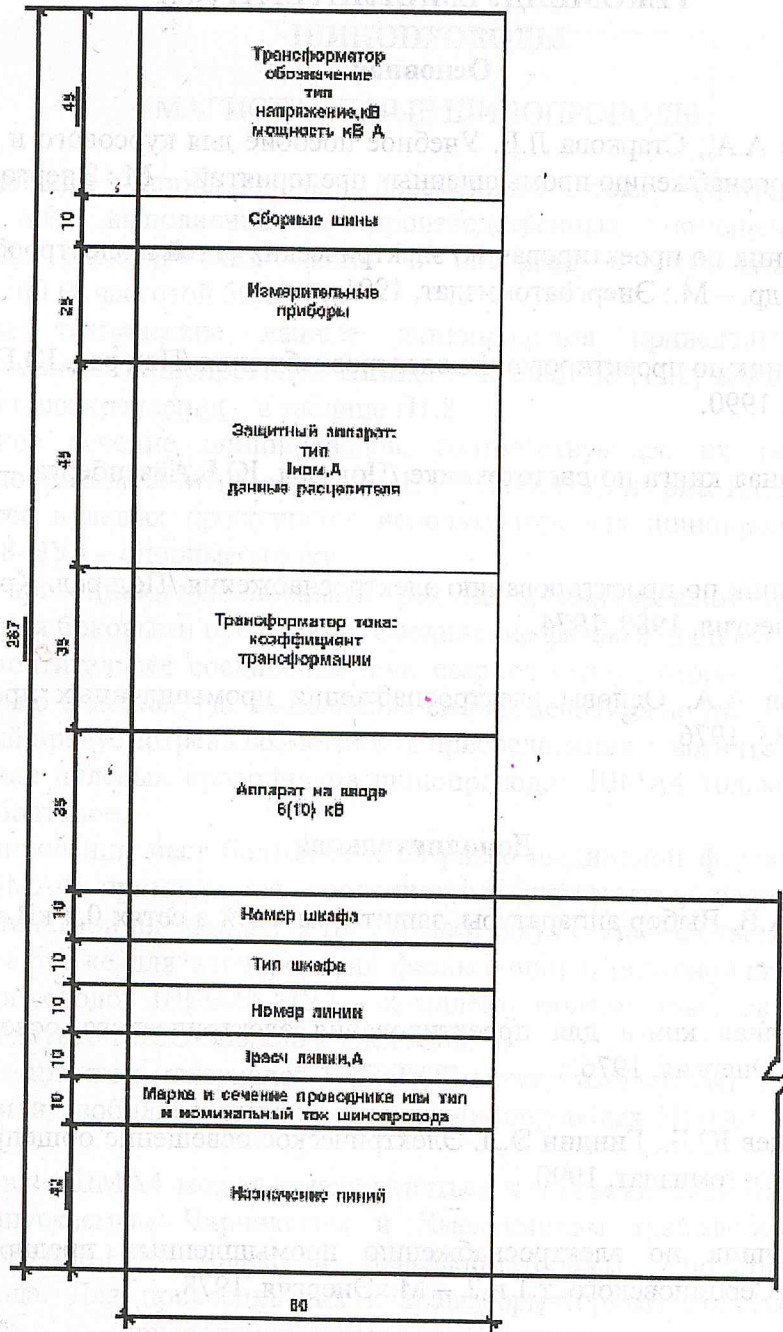


Рисунок 24. Размеры принципиальной схемы КТП

Обозначение кабеля, провода	Трасса		Проход через трубу				Кабель провод						25
	Начало	Конец	Обозначение	Диаметр по стандарту мм	Длина м	протяжной ящик м	по проекту			проложен			
							Марка	Кол. число и сечение жил	Длина м	Марка	Кол. число и сечение жил	Длина м	
20	46	46	20	15	15	15	15	25	15	15	25	15	
287													

Рисунок 25. Кабельно-трубный журнал

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

О-1. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1980.

О-2. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования /Под ред. Ю.Г.Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

О-3. Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Ю.Г.Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

О-4. Справочная книга по светотехнике /Под ред. Ю.Б.Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

О-5. Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Круповича В.И., Барыбина Ю.Г. – М.: Энергия, 1980, 1974.

О-6. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1983, 1976.

Дополнительная

Д-1. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.

Д-2. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Под ред. Г.М.Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.

Д-3. Оболенцев Ю.Б., Гиндин Э.Л. Электрическое освещение общепромышленных помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

Д-4. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий /Под ред. А.А.Федорова, и Г.В.Сербиновского, т.1 и 2. – М.: Энергия, 1978.

Д-5. Постников А.П., Рубашов Г.М. Электроснабжение промышленных предприятий. – Л.: Стройиздат, 1989.

Д-6. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

Д-7. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высш.шк., 1990.

Д-8. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.