

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ
ФГОУ ВПО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра электроснабжения

Н.М. ПОПОВ, Д.М. ОЛИН

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Справочник электрика
по электрооборудованию сельского хозяйства
для студентов 4, 5, 6 курсов специальности 311400
«Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»
очной и заочной форм обучения

КОСТРОМА 2005

УДК 621.31

Справочник составлен к.т.н, доцентом, зав. кафедрой электроснабжения Поповым Н.М. и ассистентом Олиным Д.М. ФГОУ ВПО Костромской ГСХА

Справочник рассмотрен и рекомендован к изданию методической комиссией факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства ФГОУ ВПО Костромской ГСХА, протокол № 1 от 11 февраля 2005 г.

Рецензенты: к.т.н, доцент, зав. кафедрой электротехники и электромеханики ФГОУ ВПО Костромской ГТУ Приваленков Ю.П.;
д.т.н, профессор, зав. кафедрой энергообеспечения ФГОУ ВПО Орловский ГАУ Васильев В.Г.

В справочнике представлены сведения по проводам и кабелям, проводам воздушных линий электропередачи, электродвигателям, трансформаторам, оборудованию трансформаторных подстанций, осветительным приборам, альтернативным и возобновляемым источникам энергии.

Справочник по дисциплине «Электроснабжение» предназначен для выполнения курсовых работ, проектов и решения задач студентами 4, 5, 6 курсов специальности 311400 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» очной и заочной формы обучения.

Табл. 110. Ил. 13. Ист. 21.

Учебно-справочное издание

Н.М. Попов, Д.М. Олин

Справочник электрика по электрооборудованию сельского хозяйства для студентов 4, 5, 6 курсов специальности 311400 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» очной и заочной формы обучения. — Кострома: КГСХА, 2005. — 102 с.

Зав. РИО И.В. Кондор
Редактор Н.В. Киселева
Корректор Т.В. Тарбеева

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Провода и кабели	4
1.1. Провода неизолированные для воздушных ЛЭП.....	4
1.2. Провода изолированные и кабели	5
1.3. Самонесущие изолированные провода (СИП)	8
2. Силовые трансформаторы.....	11
2.1. Силовые трансформаторы 10 кВ	12
2.2. Силовые трансформаторы 35, 110 кВ	14
2.3. Трансформаторы серии ТМ, ТМГ, ТМСУ, ТМГСУ, ТМГМШ, ТМГСИ	16
3. Комплектные трансформаторные подстанции 6 (10) кВ	21
4. Высоковольтная аппаратура трансформаторных подстанций	23
5. Шкафы силовые распределительные	35
6. Рубильники и переключатели.....	37
7. Предохранители с плавкими вставками	38
8. Автоматические выключатели и УЗО.....	41
8.1. Выбор автоматических выключателей для электродвигателей.....	41
8.2. Автоматы серии АЕ20 на напряжение до 660 В	43
8.3. Автоматические выключатели серии АЗ100, АП-50, АВМБ.....	44
8.4. Автоматические выключатели серии ВА50, ВА75	45
8.5. Автоматические выключатели серии «ЭЛЕКТРОН»	47
8.6. Устройства защитного отключения (УЗО)	49
9. Трансформаторы тока.....	51
10. Токовая защита линий 0,4 кВ	52
11. Магнитные пускатели.....	53
12. Тепловые реле	55
13. Электрооборудование освещения	57
14. Конденсаторные установки.....	59
15. Электродвигатели и приводные механизмы	60
16. Электрообогреватели.....	67
17. Резервные источники питания.....	68
17.1. Дизельные электроагрегаты и электростанции	68
17.2. Передвижные электростанции и электроагрегаты.....	71
18. Возобновляемые источники энергии	72
18.1. Использование энергии ветра	72
18.2. Малые и микроГЭС	74
18.3. Энергетическое использование биомассы	76
19. Обеспечение безопасной эксплуатации.....	79
20. Энергосбережение и экономия электроэнергии.....	82
20.1. Мероприятия по экономии энергоресурсов, электрической энергии	82
20.2. Рекомендуемые нормативы (нормы) расхода электрической энергии в основных процессах сельскохозяйственного производства.....	84
Список использованных источников	87
Приложения	88

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение курсовых и дипломных проектов требует использования большого количества справочной и учебной литературы. Получение и транспортировка этой литературы представляют в настоящее время для студентов заочного обучения большую трудность. В пособии сделана попытка обобщить те сведения из справочников и учебников, которые используются студентами при выполнении курсовых проектов по электроснабжению сельского хозяйства, автоматизированному электроприводу, освещению и проектированию электроустановок. При необходимости дополнительные сведения могут быть получены из списка использованных источников.

Справочник содержит основные сведения, необходимые при проектировании электрических сетей от выхода из питающего трансформатора до места установки электроприемника: внутренних и наружных силовых и осветительных сетей; защитных и коммутационных аппаратов; трансформаторов тока и приборов учета электроэнергии. Эти же сведения необходимы для грамотной эксплуатации электроустановок, они будут полезны специалистам, эксплуатирующим электроустановки 0,38...35 кВ.

По приведенным сведениям выбираются сечения проводов, проверяется возможность запуска электродвигателя, рассчитываются токи трехфазных, двухфазных и однофазных коротких замыканий, выбирается пускозащитная аппаратура.

1. ПРОВОДА И КАБЕЛИ

Выбор сечения проводов и кабелей производится: по допустимому току (по нагреву), по допустимой потере напряжения, по экономическим интервалам (по минимуму приведенных затрат), по экономической плотности тока. По нагреву выбирают провода с таким расчетом, чтобы в случае возникшей перегрузки защитное устройство (предохранитель, автоматический выключатель и др.) сработало раньше, чем расплавится изоляция провода. Поэтому перед выбором сечения проводника необходимо выбрать защитное устройство, которое обеспечивает работоспособность проводника после аварии.

1.1. Провода неизолированные для воздушных ЛЭП

На воздушных линиях электропередачи в основном используются алюминиевые, сталеалюминиевые провода и провода из алюминиевых сплавов. Они имеют следующую маркировку [1]:

A — провод, состоящий из семи или более алюминиевых проволок с одним и тем же диаметром, скрученных концентрическими повивами;

АКП — провод, у которого межпроволочное пространство заполнено нейтральной смазкой повышенной термостойкости;

АН — провод из проволок алюминиевого сплава;

АЖ — провод из термообработанных проволок алюминиевого сплава;

АС — провод, состоящий из сердечника, свитого из стальных оцинкованных проволок и наружного повива из алюминиевых проволок.

В таблицах 1.1-1.4 приведены характеристики алюминиевых проводов [1, 2], причем индуктивное сопротивление указано для среднегеометрических расстояний между проводами 400 и 600 мм, а строительная длина — это длина проводов на барабане.

Таблица 1.1. Характеристика алюминиевых проводов ВЛ-0,38

Ном. сечение, мм ²	Число/диам. проволок	R _{пог} , Ом/км	X _{пог.} (400), Ом/км	X _{пог.} (600), Ом/км	Доп. длительный ток, А	Масса, кг/км	Строит. длина, м
16	7/1,7	1,8	0,333	0,358	105	43	4500
25	7/2,13	1,14	0,319	0,345	135	68	4000
35	7/2,5	0,83	0,308	0,336	170	94	4000
50	7/3,0	0,576	0,297	0,325	215	135	3500
70	7/3,55	0,412	0,283	0,309	265	189	2500
95	7/4,1	0,308	0,274	0,300	320	252	2000
120	19/2,8	0,246	—	0,292	375	321	1500

Таблица 1.2. Удельное активное и реактивное сопротивление проводов ВЛ-10

Провод	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км для 0,38 кВ	Провод	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км для 10 кВ
A-25	1,14	0,345	АС-25	1,15	0,377
A-35	0,83	0,336	АС-35	0,77	0,366
A-50	0,576	0,325	АС-50	0,59	0,355
A-70	0,412	0,309	АС-70	0,42	0,341
A-95	0,306	0,3	АС-95	0,3	0,332
A-120	0,27	0,292	АС-120	0,245	0,324

Таблица 1.3. Полное удельное сопротивление петли фазный-нулевой провод четырехпроводной воздушной линии

Марка и сечение фазного провода	Сопротивление, Z _п , Ом/км, при нулевом проводе						
	A16	A25	A35	A50	A70	A95	A120
A16	4,87	—	—	—	—	—	—
A25	4,04	3,21	2,79	2,46	—	—	—
A35	3,62	2,79	2,57	2,05	—	—	—
A50	3,28	2,46	2,05	1,73	1,53	1,40	—
A70	—	2,25	1,82	1,53	1,34	1,21	1,14
A95	—	2,11	1,71	1,4	1,21	1,09	1,03
A120	—	—	1,63	1,33	1,14	1,03	0,93

Таблица 1.4. Индуктивные сопротивления для воздушных линий с проводами из меди, алюминия и стали

D _{ср.г} , мм	Сопротивление в Ом/км при сечении							
	6	10	16	25	35	50	70	95
400	0,371	0,355	0,333	0,319	0,308	0,297	0,283	0,274
600	0,397	0,381	0,358	0,345	0,336	0,325	0,309	0,300
1000	0,429	0,413	0,391	0,377	0,366	0,355	0,341	0,332
1500	—	0,438	0,416	0,402	0,391	0,380	0,366	0,357
2000	—	0,457	0,435	0,421	0,410	0,398	0,385	0,376

Примечание. D_{ср.геом} — среднегеометрическое расстояние между проводами, для трех проводов

$$D_{ср.геом} = \sqrt[3]{D_{1-2} \cdot D_{2-3} \cdot D_{1-3}},$$

где D₁₋₂, D₂₋₃, D₁₋₃ — расстояние соответственно между 1-м и 2-м, 2-м и 3-м, 1-м и 3-м проводами.

1.2. Провода изолированные и кабели

Допустимые длительные токи для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией, шнуров с резиновой или пластмассовой изоляцией и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией [3, 4, 5] приняты для температур: жил +65°C; окружающего воздуха +25°C; земли +15°C (табл. 1.5-1.9).

Таблица 1.5. Характеристики и области применения алюминиевых установочных проводов

Марка провода	Краткая характеристика	Сечение, мм ²
АПВ	одножильный с поливинилхлоридной изоляцией для прокладки в трубах, пустотах несгораемых конструкций, плинтусах, на лотках, на тросах, на изоляторах	2,5...120
АПВВ	двух- или трехжильный плоский с поливинилхлоридной изоляцией с разделительным основанием для открытой прокладки по несгораемым конструкциям, на роликах, изоляторах, а также под штукатуркой	2,5...6,0
АПВВС	двух- или трехжильный плоский с поливинилхлоридной изоляцией без разделительного основания для скрытой прокладки в трубах под штукатуркой, в осветительных сетях для прокладки в каналах	2,5...6,0
АПН	одно-, двух- и трехжильный с нейритовой резиновой изоляцией для скрытой прокладки под штукатуркой и для открытой прокладки приклеиванием	2,5...4
АПРВ	одножильный с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке для открытой прокладки на роликах, для прокладки в трубах и коробах	2,5...6,0
АПРТО	одно-, двух-, трех- и четырехжильные с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом для прокладки в стальных трубах	2,5...400
АПП	одножильный с изоляцией из полиэтилена для прокладки в трубах из трудносгораемого материала и в каналах строительных конструкций	2,5...35
АППР	одно- и двухжильный с резиновой изоляцией пониженной горючести для прокладки по деревянным основаниям	2,5...4
АПРН	одножильный с резиновой изоляцией в хлоропреновой оболочке пониженной горючести для прокладки в трубах, каналах строительных конструкций, в наружных установках	2,5...95
АТПРФ	двух- и трехжильный с резиновой изоляцией в металлической оболочке для прокладки в наружных установках	2,5...4

Таблица 1.6. Наиболее употребительные кабели с алюминиевыми жилами для сети 380 В

Марка кабеля	Краткая характеристика	Условия прокладки
АВВГ	С поливинилхлоридной изоляцией жил, в поливинилхлоридной оболочке	Внутри помещений, в каналах
АВРГ	С поливинилхлоридной изоляцией жил, в резиновой оболочке	В сырых и особо сырых помещениях
АВРБ	То же, что и АВРГ, но бронированный двумя стальными лентами с наружным покровом	В земле
АНРГ	С резиновой негорючей и маслостойкой изоляцией	В особо сырых помещениях с едкими парами и газами
АПВГ	С поливинилхлоридной изоляцией, с полиэтиленовой оболочкой	Внутри помещений, в туннелях, каналах

Таблица 1.7. Допустимый длительный ток в А для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами для прокладки в трубах и открыто

Сечение жилы, мм ²	Два одножильн.	Три одножильн.	Четыре одножильн.	Один двухжильн.	Один трехжильн.	Проложены открыто
2	19	18	15	17	14	21
2,5	20	19	19	19	16	24
3	24	22	21	22	18	27
4	28	28	23	25	21	32
6	36	32	30	31	26	39
10	50	47	39	42	38	60
16	60	60	55	6	55	75
25	85	80	70	75	65	105
35	—	—	—	—	—	130
50	—	—	—	—	—	165
70	—	—	—	—	—	210
95	—	—	—	—	—	255

Таблица 1.8. Удельное сопротивление прямой последовательности кабеля с алюминиевыми жилами при температуре проводника 65 °С, Ом/км

Сечение жил, мм ²		Активное сопротивление	Индуктивное сопротивление	
Фазных	Нулевой		3-жильный кабель	4-жильный кабель
3×4	2,5	9,16	0,092	0,098
3×6	4	6,41	0,087	0,094
3×10	6	3,84	0,082	0,088
3×16	10	2,40	0,078	0,084
3×25	16	1,54	0,062	0,072
3×35	16	1,1	0,061	0,0678
3×50	25	0,769	0,06	0,066
3×70	35	0,549	0,059	0,065
3×95	50	0,405	0,057	0,064
3×120	50	0,320	0,057	0,064
3×150	70	0,256	0,056	0,063

Примечание. Для кабелей с медными жилами значения активного сопротивления следует уменьшить в 1,7 раза.

Таблица 1.9. Полное удельное сопротивление петли фаза-ноль для кабеля или пучка проводов с алюминиевыми жилами при температуре жилы 65 °С, Ом/км

Сечение фазы, мм ²	Сечение нулевого провода, мм ²							
	2,5	4	6	10	16	25	35	50
2,5	29,64	—	—	—	—	—	—	—
4	24,08	18,52	—	—	—	—	—	—
6	—	15,43	12,34	9,88	—	—	—	—
10	—	—	9,88	7,41	5,92	—	—	—
16	—	—	—	9,52	4,43	3,7	3,35	—
25	—	—	—	5,19	3,7	2,96	2,54	2,22
35	—	—	—	4,77	3,35	2,54	2,12	1,8
50	—	—	—	—	3,06	2,22	1,8	1,48
70	—	—	—	—	—	2,01	1,59	1,27
95	—	—	—	—	—	—	1,45	1,13

1.3. Самонесущие изолированные провода (СИП)

На воздушных линиях электропередачи напряжением 380 В, с неизолированными проводами в результате воздействия механических нагрузок могут обрываться фазные или нулевой провода. В результате воздействия атмосферных перенапряжений повреждается изоляция опор. Особенно опасным для окружающих является обрыв фазного провода с падением его на землю. В этом случае линия не отключается предохранителями или автоматическими выключателями и провод под напряжением длительное время представляет опасность для людей и животных. По этим причинам на воздушных линиях все больше используют самонесущие изолированные провода СИП (табл. 1.10-1.11). В этом случае фазные и нулевой провод покрыты изоляцией, а нулевой провод или отдельный трос несут механическую нагрузку. Можно выделить следующие преимущества СИП по сравнению с воздушными линиями электропередачи, выполненными неизолированными проводами:

- снижение потери напряжения благодаря уменьшению расстояния между фазами, что значительно снижает реактивное (индуктивное) сопротивление (в среднем 0,1 Ом/км вместо 0,35 Ом/км). При этом можно увеличить нагрузку в кВт при аналогичной линии и такой же потере напряжения;
- снижение индуктивного сопротивления линий с СИП приводит к увеличению токов однофазного короткого замыкания у потребителей, что увеличивает чувствительность защитных устройств к этим видам повреждений;
- улучшение условий безопасной эксплуатации за счет устранения возможности контакта токоведущих жил с посторонними предметами;
- уменьшение необходимой ширины вырубki в лесистой местности;
- снижение риска возникновения пожаров в лесистой или покрытой кустарником местности при падении провода на землю;
- уменьшение допустимого расстояния до строений и других воздушных (например, телефонных) линий, что обеспечивает большую гибкость при прокладке;
- повышение безопасности при образовании гололеда;
- возможность использования более коротких опор — допустимое расстояние до поверхности земли для изолированных проводов составляет 4 м, для неизолированных — 6 м;
- возможность установки дополнительных линий с СИП параллельно существующим для удвоения мощности сети (что недопустимо при использовании неизолированных проводов);
- упрощение процесса прокладки новой линии, относительная простота переоборудования существующих линий с неизолированными проводами на линии с самонесущими изолированными проводами;
- возможность совместной прокладки на одних и тех же опорах одновременно СИП 0,4 кВ и высоковольтных воздушных линий 6-20 кВ с неизолированными или защищенными проводами;
- возможность одновременного монтажа на одних и тех же опорах телефонных линий (на 0,5 м ниже линии с СИП);
- бесперебойное электроснабжение в случае срыва СИП с опор;
- полное устранение опасности контакта с проводом, в том числе для птиц;
- безопасность и экономичность подключения потребителей (разводки), которое можно проводить под напряжением;
- простота внедрения методики работы с низковольтными сетями под напряжением;
- уменьшение числа аварий более чем в 5 раз;
- полная защищенность от воздействия влаги и коррозионная устойчивость благодаря изоляции проводов и наличию современных нержавеющих и водозащищенных монтажных изделий и разъемов, подвергающихся испытаниям в воде при напряжении 6 кВ;
- устранение опасности замыкания фазы на землю из-за поломки изолятора или контакта провода с ветками деревьев;

- снижение вероятности нарушения электроснабжения из-за случайных или злоумышленных действий людей;
- выстрел мелкой дробью не вызывает серьезного повреждения провода; мелкие повреждения изоляционного материала не требуют немедленного ремонта;
- полностью исключается возможность запутывания проводов из-за ветра или атмосферной неустойчивости, что является причиной 40% аварий в сетях с применением неизолированных воздушных проводов.

Самонесущие изолированные провода подразделяются на магистральные и распределительные.

Магистральные линии с СИП

Для магистральных линий СИП (рис. 1.1) состоят из четырех скрученных при изготовлении изолированных проводов: по одному на каждую из трех фаз и один нейтральный несущий. Несущий трос имеет два сечения 54,6 и 70 мм². Скрутка жил имеет правое направление. Нередко к связке добавляется один или два изолированных алюминиевых провода для освещения общественных мест (сечением в 16 или 25 мм²).

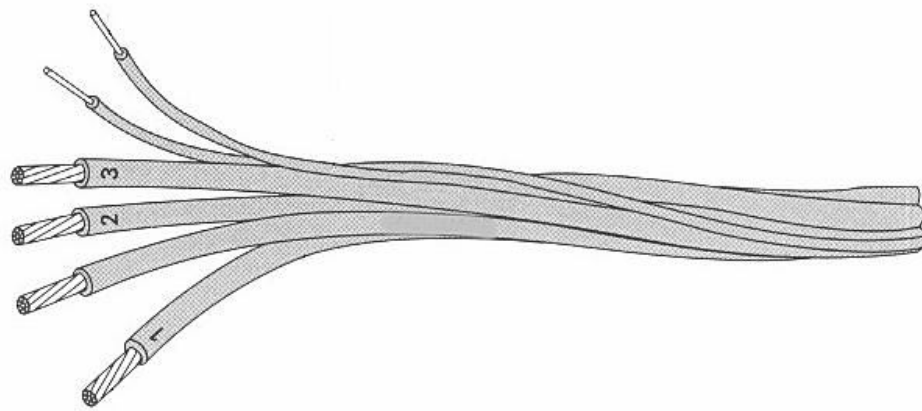


Рис. 1.1. Магистральные линии с СИП

Характеристики несущего троса 54,6 мм²:

- жила — круглая, скрученная из алюминиевого сплава АВЕ, диаметром 70 или 54,6 мм²;
- изоляция — светостабилизированный силанольсшиваемый полиэтилен, экструдированный в черный цвет;
- номинальное сечение — 54,6 мм² (7 проволок по 3,15 мм);
- диаметр жилы — 9,2 мм;
- диаметр изоляции — мин. 12,4 мм, макс. 12,8 мм;
- минимальное сопротивление на разрыв — 16,6 кН;
- модуль упругости — 62000 Мпа;
- коэффициент линейного расширения — $23 \cdot 10^{-6}$;
- линейное сопротивление — 0,630 Ом/км.

Характеристики несущего троса 70 мм²:

- номинальное сечение — 70 мм² (7 проволок по 3,45 мм);
- диаметр жилы — 9,7 мм;
- диаметр изоляции — мин. 13,0 мм, макс. 13,2 мм;
- минимальное сопротивление на разрыв — 20,5 кН;
- модуль упругости — 62000 Мпа;
- коэффициент линейного расширения — $23 \cdot 10^{-6}$;
- линейное погонное сопротивление — 0,500 Ом/км.

Фазовые проводники и проводники уличного освещения:

- жила — алюминиевая, круглая, многопроволочная уплотненная. Направление скрутки верхнего повива — правое;
- изоляция — сшитый полиэтилен, экструдированный в черный цвет;
- маркировка — цифры или цветные полосы, или продольно выпрессованные риски.

Таблица 1.10. Технические характеристики магистральных СИП

СИП 2А площадь сечения жилы, в мм ²	Диаметр в мм (мин.)				Жгута	Масса жгута кг/км	Линейное сопротивление при 20°С, Ом/км			Сила тока в рабочем режиме, А.		
	жилы		жилы с изоляцией				фазовый провод	фазовый провод освещен.	фазовый провод	фазовый провод освещен.	фазовый провод	фазовый провод освещен.
	фазовый провод	фазовый провод освещен.	фазовый провод	фазовый провод освещен.								
3×25+54,6	5,9	—	8,7	—	24	531	1,200	—	112	—	—	
3×25+54,6+16	5,9	4,85	8,7	7,45	25	600	1,200	1,910	112	83	83	
3×25+54,6+2×16	5,9	4,85	8,7	7,45	26,5	670	1,200	1,910	112	83	83	
3×35+54,6	6,9	—	10,1	—	24,6	641	0,868	—	138	—	—	
3×35+54,6+16	6,9	4,85	10,1	7,45	25,5	710	0,868	1,910	138	83	83	
3×35+54,6+2×16	6,9	4,85	10,1	7,45	27,5	779	0,868	1,910	138	83	83	
3×50+54,6	8,1	—	11,3	—	27	770	0,641	—	165	—	—	
3×50+54,6+16	8,1	4,85	11,3	7,45	28,5	839	0,641	1,910	165	83	83	
3×50+54,6+2×16	8,1	4,85	11,3	7,45	30	907	0,641	1,910	165	83	83	
3×70+54,6	9,7	—	13,3	—	30	985	0,443	—	180	—	—	
3×70+54,6+16	9,7	4,85	13,3	7,45	32,2	1054	0,443	1,910	180	83	83	
3×70+54,6+2×16	9,7	4,85	13,3	7,45	33	1122	0,443	1,910	180	83	83	
3×70+70	9,7	—	13,3	—	32	1034	0,443	—	180	—	—	
3×70+70+16	9,7	4,85	13,3	7,45	33	1103	0,443	1,910	180	83	83	
3×70+70+2×16	9,7	4,85	13,3	7,45	34	1172	0,443	1,910	180	83	83	
3×95+70	11,5	4,85	15,1	—	35	1130	0,320	—	258	—	—	
3×95+70+16	11,5	4,85	15,1	7,45	36	1200	0,320	1,910	258	83	83	
3×95+70+2×16	11,5	4,85	15,1	7,45	37	1265	0,320	1,910	258	83	83	
3×120+70	12,8	—	16,4	—	37	1380	0,253	—	300	—	—	
3×120+70+16	12,8	4,85	16,4	7,45	38	1450	0,253	1,910	300	83	83	
3×120+70+2×16	12,8	4,85	16,4	7,45	39	1520	0,253	1,910	300	83	83	
3×150+70	14,45	—	18,05	—	40	1749	0,206	—	344	—	—	
3×150+70+16	14,45	4,85	18,05	7,45	41	1817	0,206	1,910	344	83	83	
3×150+70+2×16	14,45	4,85	18,05	7,45	42	1885	0,206	1,910	344	83	83	

Распределительные СИП

Для распределительных линий СИП (рис. 1.2) состоят из 2-х или 4-х скрученных при изготовлении изолированных алюминиевых проводов сечением 16 или 25 мм². Распределительные провода не содержат несущего провода и могут обслуживать одного или нескольких отдельных потребителей, они могут также использоваться на коротких участках в качестве магистрали для освещения общественных мест; указанные провода относятся к самонесущему типу.

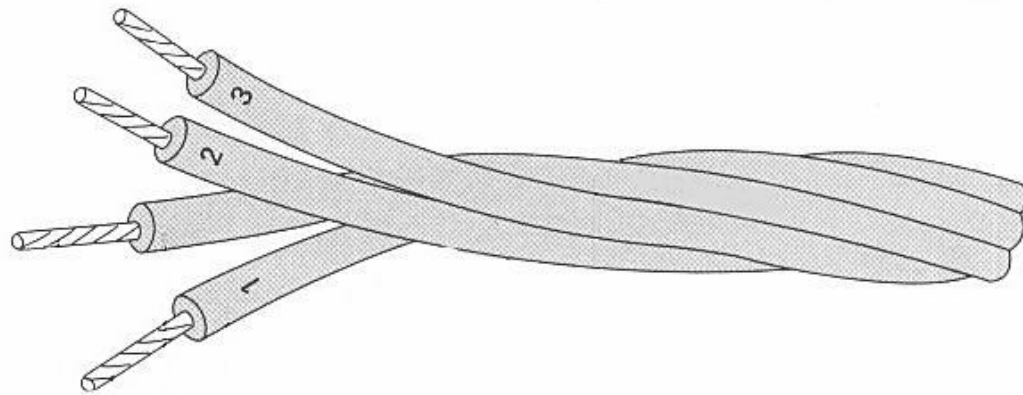


Рис. 1.2. Распределительные СИП

Характеристики фазного проводника:

- жила — алюминиевая, круглая, многопроволочная уплотненная;
- изоляция — экструдированный в черный цвет светостабилизированный силанольсшиваемый полиэтилен;
- маркировка — цифры или цветные полосы, или продольно выпрессованные риски.

Таблица 1.11. Технические характеристики распределительных СИП

Площадь сечения жилы, в мм ²	Диаметр, мм				Масса жгута, кг/км	Линейное сопротив- ление при 20°С, Ом/км	Сила тока при 20°С, А	Падение напряжения, В/км	Прочность жилы на разрыв, кН
	жилы	жилы с изоляцией		жгута					
		min	max						
2×16	4,85	7,2	7,7	14,0	137	1,91	93	3,98	1,90
2×25	5,9	8,5	8,9	17,2	210	1,20	122	2,54	3,00
4×16	4,85	7,2	7,7	17,8	274	1,91	83	3,28	1,90
4×25	5,9	8,5	8,9	20,2	420	1,20	111	2,18	3,00

2. СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформаторы предназначены для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии в условиях умеренного, холодного или тропического климата.

Силовые трансформаторы — это электрические аппараты, предназначенные для преобразования одного уровня напряжения в другой уровень. В электрических сетях они обеспечивают передачу электроэнергии с наименьшими потерями мощности, энергии и напряжения от источника до потребителя. В сельских электрических сетях используют двухобмоточные силовые трансформаторы 110/10 кВ, 35/10 кВ, 10/0,4 кВ и трехобмоточные трансформаторы 110/35/10 кВ.

Обозначение трансформаторов

Первая буква: *T* — трехфазный; *O* — однофазный.

Вторая буква: *M* — с естественной циркуляцией масла в баке; *C* — сухой с воздушным охлаждением; *D* — с принудительным охлаждением масла в радиаторах с помощью вентиляторов.

Третья буква: *З* — защищенный; *H* — с регулированием напряжения под нагрузкой; *ВМ* — с витым магнитопроводом, с треугольным расположением стержней магнитопровода.

Первое число — мощность трансформатора в кВА; через дробь второе число — класс изоляции обмотки высшего напряжения (номинальное напряжение первичной обмотки). Номинальное напряжение вторичной обмотки для однофазных трансформаторов 220 В, для трехфазных трансформаторов 380/220 (660/380) В, 10 кВ (номинальное напряжение вторичной обмотки оговаривается в заказе).

Выбор трансформаторов осуществляется по номинальному напряжению обмоток и номинальной мощности.

2.1. Силовые трансформаторы 10 кВ

Для питания сельскохозяйственных потребителей проектируют и монтируют потребительские подстанции. На них устанавливают один или два трехфазных трансформатора 10/0,4 кВ и реже однофазные трансформаторы с напряжением 10/2×0,22 кВ [1, 6]. Однофазные трансформаторы предназначены для питания однофазных потребителей мощностью до 10 кВА. Вторичная обмотка однофазного трансформатора разделена на две секции по 0,22 кВ со средней точкой.

На ТП 10/0,4 кВ устанавливают трансформаторы со схемой соединения «звезда — звезда с нулем» — 12 группа (табл. 2.1-2.2). При необходимости симметрирования напряжений в ТП до 160 кВА могут применяться трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда — зигзаг с нулем» — 11 группа.

Таблица 2.1. Основные технические данные двухобмоточных трансформаторов мощностью 25...1000 кВА (сопротивления приведены к стороне 0,4 кВ)

Тип	Потери		Напр. кз, %	Ток хх, %	X_{1T}	R_{1T}	Z_T	$Z_T^{(1)}$
	P_{xx} , кВт	$P_{кз}$, кВт			МОм	МОм	МОм	МОм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ОМ-4/10	0,065	0,14	4	8	775	1400	1600	—
ОМ-10/10	0,090	0,30	4	7	423	480	640	—
ТМ-25/10	0,13	0,60	4,5	3,2	243	154	287	3600
ТМ-40/10	0,175	0,88	4,5	3,0	157	88	180	2580
ТМ-63/10	0,24	1,28	4,5	2,8	102	51,6	115	1630
ТМ-100/10	0,33	1,97	4,5	2,6	64,7	31,5	73	1070
ТМ-160/10	0,51	2,65	4,5	2,4	41,7	16,6	45	700
ТМ-250/10	0,74	3,70	4,5	2,3	27,2	9,5	28	430
ТМ-400/10	0,95	5,50	4,5	2,1	17,1	5,5	18	318
ТМ-630/10	1,31	7,60	5,5	2,0	13,6	3,1	14	246
ТМВМ-160/10	0,46	2,65	4,5	0,5	41,8	16,6	45	—
ТМВМ-250/10	0,66	3,70	4,5	0,5	27,2	9,5	29	—
ТМ-100/35	0,46	1,97	6,5	2,6	99,1	31,5	104	—
ТМ-160/35	0,70	2,65	6,5	2,4	62,9	16,6	65	—

Продолжение таблицы 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТМ-250/35	1,00	3,70	6,5	2,3	40,5	9,5	41,6	—
ТМ-400/35	1,35	5,50	6,5	2,1	25,4	5,5	26	—
ТМ-630/35	1,90	7,60	6,5	2,0	16,2	3,1	16,5	—
ТМЗ-1000/6	2,69	12,62	5,5	1,31	—	—	—	—
Трансформаторы сухие защищенные								
ТСЗ-160/10	0,70	2700	5,5	4	52,3	16,9	16,9	—
ТСЗ-250/10	1,00	3800	5,5	3,5	33,8	9,7	9,7	—
ТСЗ-400/10	1,30	5400	5,5	3	21,3	5,4	5,4	—
ТСЗ-630/10	2,00	7300	5,5	1,5	13,7	2,9	2,9	—
ТСЗ-1000/10	4,20	16000	5,5	1,5	8,4	2,6	2,6	—

$Z_T^{(l)}$ — сопротивление трансформатора току однофазного к.з. не рассчитывается, а определяется опытным путем на заводе-изготовителе. Сопротивления трансформаторов току прямой или обратной последовательности Z_T , R_T , X_T вычисляются по паспортным значениям: $U_{ном}$ — номинальному напряжению; $S_{ном}$ — номинальной мощности; $\Delta P_{к.з.}$ — потерям короткого замыкания (в обмотках), $U_{к\%}$ — напряжению к.з. согласно формулам:

$$R_T = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2}; \quad Z_T = \frac{u_{к\%} \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}}; \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}.$$

Трансформаторы рассчитываются на срок службы 25 лет. К концу срока службы изоляция должна выработать свой ресурс. Срок службы изоляции трансформатора зависит от ее температуры. Международная электротехническая комиссия приняла шестиградусное правило: в интервале температур 80...150°C при каждом повышении температуры на 6 градусов износ изоляции увеличивается в два раза. Например, при работе изоляции с постоянной температурой 100°C срок ее службы равен 16 годам, тогда при температуре 106°C он снизится до 8 лет. При температурах ниже 80°C процесс износа изоляции настолько замедляется, что им можно пренебречь; при температурах выше 150°C процесс старения идет более быстрыми темпами. Температура изоляции никогда не бывает постоянной, поэтому за счет недогрузки в одни периоды работы трансформатора в другие его можно перегружать.

Постоянная времени нагрева трансформаторов мощностью 4...1000 кВА с масляным охлаждением составляет 2,5 часа.

Различают аварийные и систематические перегрузки трансформаторов. Аварийная кратковременная перегрузка трансформатора определяется исходя из следующих предпосылок: перед перегрузкой трансформатор находился в номинальном режиме работы (номинальная нагрузка и номинальная температура окружающей среды); перегрузка снимается, когда температура наиболее нагретой точки достигает 140°C. Превышение этой температуры нежелательно, так как она близка к температуре воспламенения паров масла.

Таблица 2.2. Допустимые аварийные перегрузки трансформаторов

Перегрузка по току, %	Масляных					Сухих				
	30	45	60	75	100	20	30	40	50	60
Длительность перегрузки, мин.	120	80	45	20	10	60	45	32	18	5

Для сельскохозяйственных предприятий зимой можно перегружать трансформаторы в зависимости от температуры охлаждающего воздуха. Аварийные перегрузки допускаются в течение не более 5 суток, время перегрузки не более 6 часов в сутки (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Коэффициенты зимних аварийных перегрузок трансформаторов 10/0,4 кВ в с.-х. сетях

Вид нагрузки	Температура охлаждающего воздуха, °С			
	–10	–5	0	+5
Коммунально-бытовая нагрузка	1,73	1,69	1,64	1,61
Производственная нагрузка	1,75	1,69	1,64	1,63
Смешанная нагрузка	1,56	1,52	1,48	1,45
Птицефабрика	1,5	1,45	1,42	1,39
Молочно-товарная ферма	1,70	1,65	1,62	1,58
Свинооткормочная ферма	1,46	1,42	1,38	1,36
Мастерская по ремонту с.-х. техники	1,69	1,63	1,59	1,57

Для трансформаторов, питающих нагрузки с осенне-зимним максимумом и заполнением суточного графика нагрузки 0,55, допускаются систематические перегрузки не выше $1,7S_{ном}$.

2.2. Силовые трансформаторы 35, 110 кВ

Большинство предприятий, коммунальных и бытовых потребителей в сельской местности получают питание от распределительных сетей 10 кВ, от трансформаторов 35/10 кВ или 110/35/10 кВ (табл. 2.4-2.7) [4].

Таблица 2.4. Технические данные трёхфазных масляных двухобмоточных трансформаторов с высшим напряжением 35 кВ

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМ-560/35	560	35	10,5	3,35	9,4	6,5	6,5
ТМ-630/35	630	35	11	1,6	7,6 (8,5)	6,5	2
ТМ-1000/35	1000	35	11	2,2	11,6	6,5	1,4
ТМ-1600/35	1600	35	6,3; 11	2,9	16,5	6,5	1,3
ТМ-2500/35	2500	35	10,5	4,3	23,5	6,5	1
ТМН-2500/35	2500	35	11	4,3	23,5	6,5	1,1
ТМ-4000/35	4000	35	10,5	5,7	33,5	7,5	1
ТМН-4000/35	4000	35	11	5,7	33,5	7,5	1
ТМ-6300/35	6300	35	10,5	8	46,5	7,5	0,6
ТМН-6300/35	6300	35	11	8	46,5	7,5	0,6
ТД-10000/35	10000	38,5	10,5	14,5	65	7,5	0,8
ТД-16000/35	16000	38,5	6,3; 10,5	21	90	8	0,6
ТДНС-16000/35	16000	36,75	10,5	18	85	10	0,55
ТД-40000/35	40000	38,5	6,3; 10,5	36	170	8,5	0,4
ТДЦ-80000/35	80000	38,5	6,3; 10,5	62	300	12,7	0,3

*Таблица 2.5. Технические данные трансформаторов 35/10 кВ
с расщеплённой обмоткой низшего напряжения*

Тип	Ном. мощность, кВА	Ном. напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток XX, %
		ВН	НН	XX	КЗ		
ТРДНС- 25000/35	25000	36,75	10,5-10,5	25	125	ВН-НН 9,5 НН ₁ -НН ₂ 15	0,5
ТРДНС- 32000/35	32000	36,75	3,6-3,6 6,3-10,5 10,5-10,5	30	145	ВН-НН 12,7 НН ₁ -НН ₂ 20	0,45
ТРДНС- 40000/35	40000	36,75	3,6-3,6 6,3-10,5 10,5-10,5	36	170	ВН-НН 12,7 НН ₁ -НН ₂ 40	2
ТРДНС- 63000/35	63000	36,75	3,6-3,6 6,3-10,5 10,5-10,5	50	250	ВН-НН 12,7 НН ₁ -НН ₂ 40	—
ТРДНС- 80000/35	80000	36,75	3,6-3,6 6,3-10,5 10,5-10,5	62	300	ВН-НН 12,7 НН ₁ -НН ₂ 40	—

*Таблица 2.6. Технические данные
трёхфазных трёхобмоточных трансформаторов*

Тип	Ном. мощность, кВА	Ном. напряжения, кВ			Потери, кВт		Напряжение КЗ, %			Ток XX, %
		ВН	СН	НН	XX	КЗ	ВН	СН	НН	
ТМТГ- 5600/110	5600	121	38,5	11	300	69,5	17 (10,5)	10,5 (17)	6	5
ТМТН- 6300/110	6300	115	38,5	6,6; 11	13	52	10,5	17	6	1
ТМТГ- 7500/110	7500	121	38,5	11	35	82	17 (10,5)	10,5 (17)	6	4,6
ТМТН- 10000/110	10000	115	22	6,6	23	80	10,5	17	6	1,1
ТДТН- 10000/110	10000	115	38,5	6,6; 11	17	76	10,5	17	6	0,8
ТДТН- 16000/110	16000	115	38,5	6,6; 11	23	100	10,5	17,5	6,5	0,75
ТДТН- 25000/110	25000	115	38,5 6,6	6,6; 11; 6,6	31	140	10,5	17,5	6,5	0,7
ТДТН- 40000/110	40000	115	38,5 11	6,6; 11; 6,6	43	200	10,5	17,5	6,5	0,6
ТДТН- 63000/110	63000	115	38,5 11	6,6; 11; 6,6	56	290	10,5	17,5	7	0,55
ТДТН- 80000/110	80000	115	38,5 11	6,6; 11; 6,6	65	365	10,5	18,5	7	0,5

Таблица 2.7. Технические данные трёхфазные двухобмоточных трансформаторов

Тип	Пределы рег., %	U _{нв} , кВ	U _{нн} , кВ	u _к , %	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _{кз} , кВт	i _{xx} , %
ТМН-2500/110	±10(8)×1,5	110	6,6; 11; 22	10,5	5	22	1,5
ТМН-6300/110	±9×1,78	115	6,6; 11; 22	10,5	11,5	44	0,8
ТДН-10000/110	±9×1,78	115	6,6; 11; 22	10,5	14	60	0,7
ТДН-16000/110	±9×1,78	115	6,6; 11; 22	10,5	19	85	0,7
ТРДН-25000/110	±9×1,78	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	27	120	0,7
ТДНЖ-25000/110	±9×1,78	115	27,5	10,5	30	120	0,7
ТРДН-40000/110	±9×1,78	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	36	172	0,7
ТД-40000/110	±2×2,5	121	6,3;10,5	10,5	50	160	0,7
ТРДЦН-63000/110	±9×1,78	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	59	260	0,65
ТДЦ-80000/110	±2×2,5	121	6,3; 10,5; 13,8	10,5	70	310	0,6
ТРДЦН-80000/110	±9×1,78	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	70	310	0,6
ТДЦ-125000/110	±2×2,5	121	13,8; 10,5	10,5	120	400	0,55
ТРДЦН-125000/110	±9×1,78	115	10,5/10,5	10,5	100	400	0,55
ТДЦ-200000/110	±2×2,5	121	18; 15,75; 13,8	10,5	170	550	0,5
ТДЦ-250000/110	±2×2,5	121	15,75	10,5	200	640	0,5
ТДЦ-80000/110	±2×2,5	121	20	10,5	320	900	0,45

Конструкция трансформаторов постоянно совершенствуется для увеличения срока службы и надежности работы. В этом направлении успешно ведутся работы на Минском электротехническом заводе.

2.3. Трансформаторы серии ТМ, ТМГ, ТМСУ, ТМГСУ, ТМГМШ, ТМГСИ

Гофрированные баки трансформаторов обеспечивают необходимую поверхность охлаждения без применения съемных охладителей, что значительно увеличивает надежность трансформаторов. Перед запуском в серийное производство гофрированные баки подвергаются механическим испытаниям на цикличность (10000 циклов на воздействие максимального и минимального давлений) для подтверждения их ресурса работы на расчетный срок службы трансформатора — 25 лет.

Трансформаторы ТМГ изготавливаются в герметичном исполнении (их внутренний объем не имеет сообщения с окружающей средой). Трансформаторы полностью заполнены трансформаторным маслом. Расширитель и воздушная или газовая «подушка» у этих трансформаторов отсутствуют. Это значительно улучшает условия работы масла, исключает его увлажнение, окисление и шламообразование. Трансформаторное масло перед заливкой в трансформатор дегазируется. Благодаря этому масло практически не меняет своих свойств в течение всего срока службы трансформаторов, поэтому производить отбор пробы масла не требуется.

Из герметизированных трансформаторов проба масла не берется [5].

Трансформаторы ТМГ практически не требуют расходов на предпусковые работы и на обслуживание в эксплуатации, не нуждаются в профилактических ремонтах и ревизиях в течение всего срока эксплуатации.

Для контроля полноты заполнения бака маслом трансформаторы ТМГ снабжаются поплавковым маслоуказателем, расположенным на крышке.

Внутренний объем трансформаторов ТМ имеет сообщение с окружающей средой. Температурные изменения объема масла, происходящие во время эксплуатации, компенсируются за счет объема расширителя. Расширитель снабжается воздухоосушителем, который служит для очистки от влаги и промышленных загрязнений воздуха, поступающего в расширитель при температурных колебаниях уровня масла.

Трансформаторы ТМГ имеют повышенную электрическую прочность изоляции вследствие применения при их заливке маслом глубокого вакуума, который полностью обеспечивает удаление воздуха из обмоток и изоляционных деталей активной части.

Фиксация положений переключателя ответвлений обмоток ВН, позволяющего регулировать напряжение ступенями по 2,5% в диапазоне $\pm 5\%$, осуществляется специальным фиксирующим устройством (расположенным в приводе внутри бака трансформатора), а также дополнительным фиксатором (расположенным в металлической рукоятке привода).

Ко дну бака приварены пластины или швеллеры, имеющие отверстия для крепления трансформатора на фундаменте. В трансформаторах мощностью 160 кВА и выше, на швеллерах (по заказу потребителя) устанавливаются переставные транспортные ролики, позволяющие производить продольное или поперечное перемещение трансформатора (в трансформаторах мощностью 160 кВА и выше). В нижней части бака имеются узел заземления и сливная пробка.

Трансформаторы поставляются с пробивным предохранителем (по заказу потребителя), предназначенным для защиты сети низшего напряжения от попадания повышенного потенциала.

Магнитопроводы трансформаторов изготавливаются из пластин, получаемых на линиях раскроя электротехнической стали «Georg» (Германия). Это современное технологическое оборудование позволяет производить шихтовку магнитопроводов с косым стыком пластин по так называемой схеме «СТЭП-ЛЭП», что резко повышает качество изготовления магнитопроводов.

По заказу потребителей трансформаторы комплектуются:

- ТМГ — электроконтактным мановакуумметром;
- ТМ — газовым реле и электроконтактным термометром.

Заводом ведутся работы по созданию трансформаторов с новыми техническими возможностями и улучшенными техническими характеристиками. В частности, изготавливаются трансформаторы серии ТМСУ и ТМГСУ (ТМ и ТМГ с симметрирующим устройством). Использование этих трансформаторов обеспечивает равномерное напряжение по фазам даже при несимметричной нагрузке. Преимущество этих трансформаторов, по сравнению с трансформаторами аналогичного назначения (имеющими схему и группу соединения обмоток У/Зн-11), в более низких потерях короткого замыкания и в возможности их параллельной работы с уже установленными трансформаторами со схемой и группой соединения У/Ун-0.

Для потребителей с повышенными требованиями к уровню шума изготавливаются трансформаторы серии ТМГМШ. Эти трансформаторы предназначены для установки в подстанциях, встроенных в жилые дома, больницы, общественные здания и других местах с особыми требованиями по экологии. Кроме улучшенных шумовых характеристик, трансформаторы серии ТМГМШ являются энергосберегающими, у них сниженные, по сравнению с трансформаторами ТМГ, потери холостого хода.

Для потребителей с наименее плотным графиком нагрузки изготавливаются трансформаторы серии ТМГСИ. Эти трансформаторы имеют несколько меньшую стоимость по сравнению с трансформаторами серии ТМГ и предназначены для потребителей с пониженными требованиями к уровню потерь короткого замыкания.

Трансформаторы с симметрирующим устройством типа ТМСУ и ТМГСУ

Минским электротехническим заводом им. В.И. Козлова разработаны, изготовлены и испытаны на соответствие всем требованиям действующих стандартов трансформаторы со схемой соединения обмоток У/Ун и специальным симметрирующим устройством СУ, самые экономичные для четырехпроводных сетей 0,38 кВ с однофазной или смешанной нагрузкой (табл. 2.7).

В этих трансформаторах ликвидировано явление перегрева потоками нулевой последовательности при неравномерной нагрузке фаз и при ее суммарной мощности равной или ниже номинальной.

Трансформаторы с СУ улучшают работу защиты и повышают безопасность работы электрической сети. В них резко снижено разрушающее воздействие на обмотки токов при однофазных коротких замыканиях.

СУ значительно улучшает синусоидальность формы кривой изменения напряжения при наличии в сети нелинейных нагрузок (люминесцентных ламп, выпрямительных устройств, сварочных аппаратов и т.п.), что крайне важно при питании многих чувствительных приборов (ЭВМ, автоматики, телевизоров).

Сокращен «скачок» повышения напряжения до допустимой величины на здоровых фазах при однофазных коротких замыканиях в сети 0,38 кВ.

СУ снимает повышенный шум у трансформаторов У/Ун при их неравномерной нагрузке по фазам, что важно при установке их в трансформаторные подстанции, встроенные в жилые здания.

Вместе с тем симметрирование системы фазных напряжений при неравномерной нагрузке фаз (благодаря устранению явления «смещения нулевой точки» так же, как и при использовании трансформаторов У/Зн) обеспечивает токоприемники качественным напряжением, что значительно сокращает выход из строя и продлевает срок службы электрических машин, ламп освещения, схем автоматики, электрооборудования многих бытовых приборов и пр.

Трансформаторы со схемой соединения обмоток У/Ун с СУ имеют ту же нулевую группу, как и трансформаторы со схемой соединения обмоток У/Ун без СУ. Это позволяет использовать их как в трехфазных симметричных сетях, так и в сетях с преобладанием однофазной (коммунально-бытовой) нагрузки.

Причем они могут работать параллельно, в кольце, отдельно.

СУ сокращает потери электроэнергии в трансформаторах У/Ун и в сети. Расчеты «БЕЛЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТА» (г. Минск) показали, что использование СУ в усредненной электрической сети с трансформатором мощностью 100 кВА (при токе в нулевом проводе равном 25% от номинального фазного) позволяет снизить потери электрической энергии от несимметрии напряжения только за один год эксплуатации на 169 кВт·ч (по сравнению с сетью с трансформаторами У/Ун без СУ) и на 454 кВт·ч (по сравнению с сетью с трансформаторами У/Зн). Поэтому, повышение стоимости серийных трансформаторов с СУ типа ТМСУ и ТМГСУ 1-го и 2-го габаритов окупается в среднем за 6 месяцев.

Все сказанное подтверждено многолетней опытной эксплуатацией более 150 трансформаторов со схемой соединения обмоток У/Ун с СУ типа ТМСУ и ТМГСУ, мощностью 25-250 кВА в электрических сетях энергосистем Республики Беларусь.

Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова поставляет по заявкам трансформаторы У/Ун с СУ типа ТМСУ и ТМГСУ, напряжением 6-10/0,4 кВ, мощностью 25, 40, 63, 100, 160 и 250 кВА (табл. 2.8).

Таблица 2.8. Технические характеристики масляных трансформаторов
серии ТМ, ТМГ, ТМСУ, ТМГСУ, ТМГМШ мощность 25...1600 кВА
частота — 50 Гц, напряжение НН — 0,4 (0,23) кВ, ВН — до 35 кВ

Тип	Мощность, кВА	Напряжение ВН, кВ	Схема и груп- па соедин-я	Напряжение к.з., %	Потери, Вт	
					х.х.	к.з.
1	2	3	4	5	6	7
ТМГ	16	6; 10	У/У _Н -0	4,5	85	440
			У/ Z _Н -11	5		500
ТМГСИ			У/У _Н -0	4,5		550
			У/ Z _Н -11	5,5		550
ТМ	25	6; 10	У/У _Н -0	4,5	115	600
ТМГ						
ТМ			У/ Z _Н -11	4,7		690
ТМГ						700
ТМГСИ		10	У/У _Н -0	4,5	85	600
ТМГМШ						
ТМСУ		15	У/ Z _Н -11	4,7	115	690
ТМ						
ТМГ						
ТМ						
ТМГ		27,5	У/У _Н -0	6	145	650
ТМ		6; 10	У/У _Н -0	4,5	155	880
ТМГ						
ТМ			У/ Z _Н -11	4,7		1000
ТМГ						1025
ТМГСИ	40	10	У/У _Н -0	4,5	105	880
ТМГМШ					155	
ТМСУ		15	У/ Z _Н -11	4,7	165	1000
ТМ						
ТМГ						
ТМ						
ТМГ		6; 10	У/У _Н -0	4,5	220	1280
ТМ						
ТМГ						
ТМГ						
ТМГСИ		10	У/У _Н -0	4,5	170	1280
ТМГМШ						
ТМГСУ		15	У/ Z _Н -11	4,7	220	1470
ТМ						
ТМГ						
ТМ						
ТМГ		6; 10	У/У _Н -0	4,5	270	1970
ТМГ			У/ Z _Н -11	4,7		2270
ТМГ	100	8,05	У/Д-11			
ТМГСИ		6; 10	У/У _Н -0	4,5	270	1970
ТМГМШ					220	
ТМГСУ		10	У/ Z _Н -11	4,7	270	2270
ТМГ		15				
ТМГ		35; 27,5	У/У _Н -0	6,5	320	1970
ТМГ						
ТМГ		35; 27,5	У/ Z _Н -11	6,8		2270

Продолжение таблицы 2.8

1	2	3	4	5	6	7	
ТМГ	160	6; 10	У/УН-0	4,5	410	2600	
			У/ЗН-11	4,7		2900	
			Д/УН-11	4,5		3100	
ТМГСИ		У/УН-0	320		2600		
ТМГМШ			410				
ТМГСУ							
ТМГ		15	У/ЗН-11	4,7	480	2900	
		27,5; 35	У/УН-0	6,5		2650	
		35	У/ЗН-11	6,8		3100	
	ТМГ	250	6; 10	У/УН-0	4,5	580	3700
Д/УН-11	4200						
ТМГСИ	У/УН-0			450		3700	
ТМГМШ	Д/УН-11		4200				
ТМГСУ	10		У/УН-0	580		3700	
ТМГ	15		УН/Д-11			4200	
	27,5; 35		У/УН-0		6,5	700	3700
	35		У/ЗН-11	6,8	4200		
ТМГ	400		6; 10	У/УН-0	4,5	830	5400
		8,15	УН/Д-11	6000			
		ТМГСИ	6; 10	У/УН-0			600
		ТМГМШ	6; 10	Д/УН-11		5600	
		ТМГ	15	У/УН-0		830	5800
			Д/УН-11	950			5500
			27,5; 35	У/УН-0	6,5		
ТМГ		630	6; 10	У/УН-0	5,5	1240	7600
Д/УН-11				940			8600
ТМГСИ	У/УН-0						7600
ТМГМШ	Д/УН-11						
	У/УН-0						
	Д/УН-11						
ТМГ	800	6; 10	Д/УН-11	5,5	1370	9600	
ТМ	1000	6; 10	У/УН-0	5,5	1600	10800	
ТМГ			Д/УН-11				
			У/УН-0				
			Д/УН-11				
ТМГСИ			У/УН-0		1250	10800	
ТМГМШ			Д/УН-11				
			У/УН-0				
			Д/УН-11				
ТМГ	1250	10	Д/УН-11	5,5	1850	13500	
ТМ	1600	10	Д/УН-11	6	2300	16500	

3. КОМПЛЕКТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ 6 (10) КВ

Подстанции трансформаторные комплектные представляют собой однотрансформаторные подстанции наружной установки и служат для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частоты 50 Гц напряжением 6 или 10 кВ, преобразования в электроэнергию напряжением 0,4 кВ и снабжения ею потребителей в районах с умеренным климатом (от –40°С до +40°С), КТП выполняется с кабельными или воздушными вводами и выводами в различных сочетаниях. При воздушном вводе КТП подключается к ЛЭП посредством разъединителя, который поставляется комплектно с КТП и устанавливается на ближайшей опоре.

В КТП на отходящих линиях установлены стационарные автоматы. Патроны высоковольтных предохранителей установлены внутри шкафа КТП. Подстанции обеспечивают учет активной электрической энергии. В КТП имеются электрические и механические блокировки, обеспечивающие безопасную работу обслуживающего персонала. В КТП имеется фидер наружного уличного освещения, который включается и отключается автоматически. Для создания нормальных условий работы низковольтной аппаратуры схемой предусмотрен обогрев (табл. 3.1-3.3).

Таблица 3.1. КТП 6-400 кВА тупикового типа с воздушным (кабельным) вводом ВН и воздушно-кабельными выводами НН

Наименование параметра		Значение параметра									
Тип трансформатора		ТМГ									
Ном. мощность трансформатора, кВА		63		100		160		250		400	
Схема и группа соединения обмоток трансформатора		Y/Yн-0								Y/Yн-0 Д/Yн-11	
Ном. напряжение на стороне ВН, кВ		6	10	6	10	6	10	6	10	6	10
Ном. ток предохранителя на стороне ВН, А		16	10	20	16	31,5	20	50	31,5	60	50
Ном. напряжение на стороне НН, кВ		0,4									
Ном. токи отходящих линий, А	№ 1	25		40		80		100			
	№ 2	25		40		80		100		160	
	№ 3	63		100		160		200			
	№ 4	40		80		100		160		200	
	№ 5	40									
	№ 6	63									
	Уличное освещение	16,25									

*Таблица 3.2. КТП 400-630 кВА тупикового типа
с воздушным (кабельным) вводом*

Наименование параметра		Значение параметра			
Тип трансформатора		ТМГ			
Ном. мощность трансформатора, кВА		400		630	
Схема и группа соединения обмоток трансформатора		Y/Y _Н -0 или Д/Y _Н -11			
Ном. напряжение на стороне ВН, кВ		6	10	6	10
Ном. ток трансформатора на стороне ВН, А		38,5	23,1	60,69	36,4
Ном. ток плавкой вставки предохранителя ВН, А		80	50	10	80
Ном. напряжение на стороне НН, кВ		0,4			
Ном. ток трансформатора на стороне НН, А		577,4		910,1	
Ном. токи отходящих линий, А	№ 1	400			
	№ 2	200			
	№ 3	160			
	№ 4	100			
	№ 5	100			
	№ 6	—		400	
	№ 7	—		250	
	№ 8	—		160	
	Уличное освещение	16			

*Таблица 3.3. КТП 630, 1000 кВА тупикового типа
со стационарными выключателями 0,4 кВ*

Номер фидера	Ном. ток отходящих линий, А	
	630 кВА	1000 кВА
№ 1	160	
№ 2	250	
№ 3	100	
№ 4	160	
№ 5	100	
№ 6		
№ 7	250	630
№ 8	250	
№ 9	320	
№ 10	250	400
Линия освещения	25	

4. ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

В процессе проектирования, наряду с аппаратурой, устанавливаемой в щите 0,4 кВ, выбирают аппаратуру для установки на стороне 10, 35, 110 кВ трансформаторного пункта [4].

Защита трансформаторов от токов к.з. осуществляется высоковольтными предохранителями ПК-10 — предохранитель с заполнением кварцевым песком для сети 10 кВ [1] (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Рекомендуемые токи плавких вставок для ПК-10Н в ТП-10/0,4кВ

$S_{\text{ном.тр.}}, \text{кВА}$	25	40	63	100	160	250	400	630
$I_{\text{ном.тр.10кВ}}, \text{А}$	1,44	2,31	3,64	5,77	9,25	14,5	23,1	36,4
$I_{\text{ном.пл.вст.}}, \text{А}$	3	5	7,5	15	20	30	50	75

От наведенных перенапряжений электроустановки защищают с помощью грозо-защитных аппаратов — *разрядников* [2]. К простейшим грозозащитным аппаратам относят так называемый роговой разрядник. Более совершенными являются трубчатые и вентильные разрядники (табл. 4.2, 4.3). В последнее время разработаны и начинают применяться длинноискровые разрядники.

Таблица 4.2. Характеристики вентильных разрядников РВП-10, РВО-10

Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее допустимое рабочее напряжение, кВ	12,7
Пробивное напряжение при частоте 50 Гц, кВ	26
Остающееся напряжение, кВ, при импульсном токе с длиной фронта волны 10 мкс с амплитудой не более 5 кА	50

Таблица 4.3. Характеристики вентильных разрядников РВН-1

Наибольшее допустимое рабочее напряжение, кВ	0,5
Пробивное напряжение при частоте 50 Гц, кВ	2,5...3
Остающееся напряжение, кВ, при импульсном токе с длиной фронта волны 10 мкс с амплитудой не более 1 кА	2,5

Реакторы предназначены для ограничения тока КЗ и поддержания напряжения на шинах питающей подстанции [4]. Реактор представляет собой катушку с большим индуктивным и малым активным сопротивлением. Реакторы выполняют без стальных сердечников для того, чтобы индуктивность катушек реакторов не зависела от тока, протекающего по обмоткам.

В сетях напряжением выше 1 кВ применяют токоограничивающие, заземляющие и шунтирующие реакторы (табл. 4.4).

Таблица 4.4. Технические данные заземляющих реакторов

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Предельные токи реактора, А	Тип трансформатора
ЗРОМ-175/6	6	36	—
ЗРОМ-350/6	6	50-100	—
ЗРОМ-300/10	10	25-50	—
ЗРОМ-550/35	35	12,5-25	—
РЗДСОМ-230/6У1 (Т1)	6,6 / $\sqrt{3}$	50-25	ТВ-35-25
РЗДСОМ-460/6У1 (Т1)	6,6 / $\sqrt{3}$	100-50	ТВ-35-25
РЗДСОМ-920/6У1 (Т1)	6,6 / $\sqrt{3}$	200-100	ТВ-35-25
РЗДСОМ-190/10У1 (СГ1)	11 / $\sqrt{3}$	25-12,5	ТВ-35-25
РЗДСОМ-380/10У1 (СП)	11 / $\sqrt{3}$	50-25	ТВ-35-25
РЗДСОМ-760/10У1 (ЦТ1)	11 / $\sqrt{3}$	100-50	ТВ-35-25
РЗДСОМ-1520//10У1 (Т1)	11 / $\sqrt{3}$	200-100	ТПОФ-10
РЗДСОМ-115/15,75У1 (Т1)	15,75 / $\sqrt{3}$	10-5	ТВ-35-25
РЗДСОМ-155/20У1 (Т1)	20 / $\sqrt{3}$	12,5-6,25	ТВ-35-25
РЗДСОМ-310/35У1	38,5 / $\sqrt{3}$	12,5-6,25	ТВ-35-25
РЗДСОМ-620/35У1	38,5 / $\sqrt{3}$	25-12,5	ТВ-35-25
РЗДСОМ-1240//35У1 (Т1)	38,5 / $\sqrt{3}$	50-25	ТВ-35-25

Коммутация токов холостого хода трансформаторов осуществляется разъединителями у трансформаторов до 400 кВА и выключателями нагрузки у трансформаторов свыше 1000 кВА.

Разъединители выбирают по номинальному току и по номинальному напряжению. Для наружной установки используют разъединители типа РЛНДА-10/200 — разъединитель линейный для наружной установки, двухколонковый с алюминиевыми ножами, для сети 10 кВ, на ток до 200 А. Для установки в помещении РВ-10/400 — разъединитель для внутренней установки в сети 10 кВ, на ток до 400 А [7]. В конце буквенного обозначения иногда разъединители имеют букву З — это означает разъединитель с заземляющими ножами, которые накладываются в отключенном положении разъединителя (табл. 4.5).

Силовые выключатели высокого напряжения

Силовые выключатели рассчитаны на включение, отключение и переключение рабочих токов при нормальном режиме и токов короткого замыкания при аварийных режимах, которые обычно сопровождаются большим увеличением токов. В зависимости от дугогасительной среды выключатели разделяют на жидкостные и газовые. Основное применение получили масляные, воздушные, электромагнитные и вакуумные выключатели.

В масляных выключателях дугогасительной средой является трансформаторное масло. Вследствие высокой температуры, возникающей между контактами, масло разлагается, и дуговой разряд происходит в газовой среде, поэтому масляные выключатели относятся к группе газогенерирующих выключателей (автогазовых). Различают многообъемные и малообъемные масляные выключатели, отличающиеся количеством масла и изоляцией токоведущих частей (табл. 4.6).

Многообъемные или баковые масляные выключатели с большим объемом масла, в которых масло используют не только для гашения дуги, но и для изоляции токоведущих частей друг от друга и от земли в основном для наружных распределительных уст-

роЙств станций и подстанций энергетических систем напряжением 35...220 кВ. Характерным для многообъемных выключателей является наличие общего для трех полюсов стального заземленного бака или отдельных баков для каждого полюса.

Малообъемные масляные (горшковые) выключатели — выключатели, в которых масло служит только газогенерирующим веществом и используется как дугогасящая среда. По техническим и конструктивным параметрам их встраивают в комплектные распределительные и стационарные устройства (КРУ и КСО) наружной и внутренней установки.

Воздушные выключатели — выключатели с опорожняющими камерами и отделителями относятся к ранним конструкциям. В них отделитель представлял собой коммутационное устройство (типа разъединителя), включенное последовательно с гасительным устройством выключателя. Такие выключатели снабжены постоянно включенными резисторами, шунтирующими разрывы (табл. 4.7).

Электромагнитные выключатели с электромагнитным гашением дуги в основном применяют при напряжении 10...15 кВ. Они имеют ряд преимуществ: не требуют масла для гашения дуги и компрессорной установки для воздушного дутья, пожаро- и взрывобезопасны, создают низкий уровень коммутационных перенапряжений, имеют повышенную изнОсоустойчивость дугогасящих частей выключателя. Однако стоимость их довольно высока. Электромагнитные выключатели выпускают с номинальными токами отключения до 40 кА при напряжении 6 кВ и 20 кА при напряжении 10 кВ; они получили применение в установках с частыми отключениями, в электропечных, тяговых, выпрямительных подстанциях, в системах собственных нужд мощных электростанций. Действие электромагнитных выключателей основано на гашении электрической дуги при отключении в дугогасящей камере, содержащей решетку из керамических пластин, в которую дуги затягиваются магнитным полем, возбуждаемым током дуги. При отключении выключателя сначала отключаются главные, затем — дугогасительные контакты (табл. 4.8).

Вакуумные выключатели изготовляют на напряжение 6...10 кВ, номинальные токи до 1600 А. Вакуумные выключатели являются относительно новыми (табл. 4.9).

Выключатели нагрузки позволяют разрывать токи нагрузки, благодаря наличию дугогасительных камер. Управление ВН осуществляется ручным приводом ПРА-17 с катушкой дистанционного отключения, поэтому отключение может производиться как вручную, так и автоматически. Для отключения к.з. с ними комплектно поставляются предохранители ПК-10. Выключатели нагрузки используют и в качестве секционирующих устройств, особенно на проходных ТП (табл. 4.10).

Технические данные отделителей, короткозамыкателей, заземлителей приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.5. Технические данные разъединителей

Тип	U _н , кВ	I _н , А	Предельный сквозной ток главных но- жей, кА	Ток термиче- ской стойко- сти главных ножей/время прохождения тока термиче- ской стойко- сти, кА/с	Тип привода	
					главных ножей	заземляющих ножей
1	2	3	4	5	6	7
Для внутренней установки						
РВР(3)-10/25000У2(У3)	10	2500	125	45/4	ПДВ-1У3; ПЧ-50У3; ПР-3У3	ПР-3У3
РВР(3)-10/4000 У3	10	4000	125	45/4	ПДВ-1У3; ПЧ-50У3; ПР-3У3	ПР-3У3
РВР(3)-Ш-10/2000У3	10	2000	85	31,5/4	ПДВ-1У3; ПЧ-50У3; ПР-3У3	ПР-3У3
РВ-35/630У3	35	630	50	20/4	ПР-3	ПЧ-50
РВ-35/1000У3	35	1000	55	20/4	ПР-3	ПЧ-50
РВ3-1а(16)-35/630У3	35	630	50	20/4	ПР-3	ПР-3
РВ3-1а(16)-35/1000У3	35	1000	80	31,5/4	ПР-3	ПР-3
РВ3-2-35/630У3	35	630	51	20/4	ПР-3	ПР-3
РВ3-2-35/1000У3	35	1000	80	31,5/4	ПР-3	ПР-3
РВК-10/2000	10	2000	85	31,5/4	ПР-3У3; ПЧ-50У3; ПДВ-1У3	–
РВК-35/2000	35	2000	115	45/4	ПР-3У3	–
РВ3-10/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11
РВ3-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11
РВ3-10/1000	10	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11
РВФ3-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11
РВФ3-10/1000	10	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11
РВ-10/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	–

1	2	3	4	5	6	7
РВ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	–
РВ-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	–
РВО-40/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	–
РВО-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	–
РВО-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	–
РВФ-10/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	–
РВФ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	–
РВФ-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	ПР
Для наружной установки						
РНД(3)-35/1000У1	35	1000	63	25/4	ПР-У1; ПВ-20У2	ПР-У1; ПВ-20У2
РНД(3)-35/1000ХД1	35	1000	63	25/4	ПР-ХЛ1-110В; ПВ-20У; ПРН-ПОВ	ПР-ХЛ1; ПВ-20
РНД(3)-35Б/1000У1	35	1000	63	25/4	ПВ-20У; ПРН-110; ПР-У1	ПР-У1; ПВ-20У
РНД(3)-35У/1000У1	35	1000	63	25/4	ПР-У1; ПРН-110; ПВ-20У	ПР-У1; ПВ-20У
РНД3-35/2000У1	35	2000	80	31,5/4	ПР-У1; ПРН-110	ПР-У1
РНД3-35/2000У1	35	2000	80	31,5/4	ПР-У1; ПРН-110	ПР-У1
РНД(3)-35(Б)/ 2000У1(ХЛ1)	35	2000	80	31,5/4	ПР-У1; ПРН-110	ПР-У1
РНД(3)-35У/2000У1	35	2000	80	31,5/4	ПВ-20У; ПРН-110; ПР-У1	ПВ-20У; ПР-У1
РНД(3)-110/630Т1	110	630	100	40/3	ПР-Т1; ПЛВ-220Т	ПР-Т1
РНД(3)-110/1250Т1	110	1250	1000	40/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1
РНД(3)-110(Б)(У)/ 1000У1(ХЛ)	110	1000	80	31,5/3	ПР-У1; ПНД-1У1; ПДН-ПОВ	ПР-У1; (ПР-ХЛ1)
РНД(3)-110(У)/ 2000У1(ХЛ)	110	2000	100	40/3	ПР-У1; ПНД-1У1	ПР-У1
РНД(3)-110/3200У1	110	3200	125	50/3	ПР-У1; ПНД-1У1	ПР-У1

Таблица 4.6. Технические данные масляных выключателей

Тип	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , А	Предельный ток, кА		Номинальный ток включения, кА		Предельный ток термической стойкости / допустимое время его действия, кА/с	Время отключения с приводом, с	Время включения с приводом, с	Тип привода
				Амплитудное значение	Действующее значение пер-риодической составляющей	Амплитудное значение	Действующее значение пер-риодической составляющей				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Выключатели масляные многообъёмные											
С-35М-630-10У1	35	630	10	26	10	26	10	10/4	0,08	0,34-0,4	ШПЭ-12 (ПП-67)
С-35М-630-10Б(А)Т1	35	630	10	26	10	26	10	10/4	0,08	0,34	ШПЭ-12 (ПП-67)
С-35М-630-10Б(А)ХЛ1	35	630	10	26	10	26	10	10/4	0,08	0,34	ШПЭ-12 (ПП-67)
С-35-2000-50БУ1	35	2000	50	127	50	127	50	50/4	0,08	0,7	ШПЭ-38
С-35-3200-50БУ1	35	3200	50	127	50	127	50	50/4	0,08	0,7	ШПЭ-38
МКП-35-1000-25АУ1	35	1000	25	64	25	64	25	25/4	0,08	0,4	ШПЭ-31
МКП-110Б-630-20У1	110	630	20	52	20	52	20	20/4	0,055-0,08	0,6	ШПЭ-33
МКП-110Б-1000-20У1	110	1000	20	52	20	52	20	20/4	0,055-0,08	0,6	ШПЭ-33
МКП-110М-1000-20У1	110	1000	20	52	20	52	20	20/4	0,55-0,08	0,5	ШПЭ-33
МКП-110М630-20У1	110	630	20	52	20	52	20	20/4	0,055-0,08	0,5	ШПЭ-33
МКП-110-1000-20У1	110	1000	20	52	20	52	20	20/4	0,055-0,08	0,5	ШПЭ-33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
У-110-2000-50У1	110	2000	56	135	50	135	50	50/3	0,08	0,3	ШПВ-47
У-110-2000-40У1	110	2000	40	102	40	102	40	40/3	0,08	0,8	ШПЭ-44У1
Выключатели масляные малообъёмные											
ВМПЭ -10-630-31.5У3	10	630	31,5	80	31,5	—	—	31,5/4	0,12	0,3	ПЭВ-11А
ВМПЭ -10-1000-31,5У3	10	1000	31,5	80	31,5	—	—	31,5/4	0,12	0,3	ПЭВ-11А
ВМПЭ -10-1600-31,5У3	10	1600	31,5	80	31,5	—	—	31,5/4	0,12	0,3	ПЭВ-11А
ВМПЭ-10-3200-31.5У3	10	3200	31,5	80	31,5	—	—	31,5/4	0,12	0,3	ПЭВ-11А
ВМПЭ-10-1250-20Т3	10	1250	20	52	20	—	—	20/4	0,12	0,3	Встроенный
ВМПЭ-11-1250-31,5Т3	11	1250	31,5	80	31,5	—	—	31,5/4	0,12	0,3	Встроенный
ВМПЭ-11-2500-31.5Т3	11	2500	31,5	80	31,5	—	—	31,5/4	0,12	0,3	ППВ пружинный
ВММ-10-400-10У2	10	400	10	25,5	10	25,5	10	10/3	0,1	0,2	ППВ пружинный
ВММ -10-630-10У2	10	630	10	25,5	10	25,5	10	10/3	0,1	0,2	ППВ пружинный
ВММ -10А-400-10ЭУ2	10	400	10	25	10	25	10	10/4	0,12	0,2	ППВ пружинный
ВММ -10-320-10Т3	11	320	10	25	10	25	10	10/4	0,12	0,2	ППВ пружинный
МГГ-10-3200-45У3	10	3200/ 2000	45	120	45	120/80	45/30	45/4	0,14	0,4	ПЭ-21У3
МГГ-10-4000-45У3	10	4000/ 3200	45	120	45	120/80	45/30	45/4	0,14	0,4	ПЭ-21У3
МГГ-10-5000-45У3	10	5600/ 5000	45	120	45	120/80	45/30	45/4	0,14	0,4	ПЭ-21У3
МГГ-10-5000-63КУ3	10	5000/ 4000	63/58	170	64	140/ 100	64/38	64/4	0,14	0,4	ПЭ-21АУ3
МГГ-10-5000-63У3	10	5600/ 5000	63/58	170	64	170/ 100	64/38	64/4	0,14	0,4	ПЭ-21АУ3
МГГ-10-2000-45Т3	10	2000/ 2000	45	120	45	120/80	45/30	45/4	0,14	0,4	ПЭ-21Т3
МГГ-10-3200-45Т3	10	3200	45	120	45	120/80	45/30	45/4	0,14	0,4	ПЭ-21Т3
МГГ-10-4000-45Т3	10	4000	45	120	45	120/80	45/4	45/4	0,14	0,4	ПЭ-21Т3

Таблица 4.7. Технические данные воздушных выключателей

Тип	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , А	Предельный сквоз- ной ток, кА		Номинальный ток включения, кА		Предельный ток термической стойкости / допустимое время его действия, кА/с	Время отключения с приводом, с	Время включения с приводом, с
				Амплитудное значение	Действующее значение периодической составляющей	Амплитудное значение	Действующее значение периодической составляющей			
ВВЭ-110Б -16/1600У1	110	1600	16	67	26	67	26	26/3	0,06	0,2
ВВУ-110Б-40/2000У1	110	2000	40	102	40	102	40	40/3	0,08	0,2
ВВБМ-110Б -31,5/	110	2000	31,5	90	35	90	35	35/3	0,07	0,15
ВВБК-110-50/3200	110	3200	50	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-110-50/4000	110	4000	50	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-110-63/3200	110	3200	63	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-110-63/4000	110	4000	63	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-220-50/2000	220	2000	50	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-220-50/3200	220	3200	50	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-220-50/4000	220	4000	50	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК-220-63/2000	220	2000	63	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК -220-63/3200	220	3200	63	—	—	—	—	—	0,04	0,1
ВВБК -220-63/4000	220	4000	63	—	—	—	—	—	0,04	0,1

Таблица 4.8. Технические данные электромагнитных выключателей

Тип	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , А	Пределный сквозной ток, кА		Номинальный ток включения, ток кА		Пределный ток термической стойкости / допустимое время его действия, кА/с	Время отключения с приводом, с	Время включения с приводом, с	Тип привода
				Амплитудное значение	Действующее значение периодической составляющей	Амплитудное значение	Действующее значение периодической составляющей				
ВЭМ-10Э-1000/12,5У3	10	1000	12,5/20	52	20	52	20	20/5	0,07	0,25	Электромагнитный
ВЭМ -10Э -1250/12,5У3	10	1250	12,5/20	52	20	52	20	20/5	0,07	0,25	Электромагнитный
ВЭМ -10Э-1000/20У3	10	1000	20	52	—	52	—	20/4	0,07	0,25	Электромагнитный
ВЭМ -10Э-1250/20У3	10	1250	20	52	—	52	—	20/4	0,07	0,25	Электромагнитный
ВЭМ -6-2000/40-125	6	2000	40	125	—	125	—	40/4	0,08	0,35	ПЭ-22
ВЭС-6-3200/40-125	6	3200	40	125	—	125	—	40/4	0,1	0,35	ПЭ-22
ВЭС -6-40/1600У3	6	1600	40	128	40	128	40	40/4	0,075	0,075	Пружинный
ВЭС -6-40/20000У3	6	2000	40	128	40	128	40	40/4	0,075	0,075	Пружинный
ВЭС -6-40/3200У3	6	3200	40	128	40	128	40	40/4	0,075	0,075	Пружинный
ВЭ-10-1250-20У3	10	1250	20	51	20	51	20	20/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-1600-20У3	10	1600	20	51	20	51	20	20/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-2500-20У3	10	2500	20	51	20	51	20	20/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-3600-20У3	10	3600	20	51	20	51	20	20/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-1250-31,5У3	10	1250	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-1600-31,5У3	10	1600	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-2500-31,5У3	10	2500	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,075	0,075	ППВ
ВЭ-10-3600-31,5У3	10	3600	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,075	0,075	ППВ

Таблица 4.9. Технические данные вакуумных выключателей

Тип	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , А	Предельный сквозной ток, кА		Номинальный ток включения, ток		Предельный ток термической стой- кости / допустимое время его действия, кА/с	Время отключения с приводом, с	Время включения с приводом, с	Тип привода
				кА		кА					
				Амплитудное значение	Действующее значение периодической составляющей	Амплитудное значение	Действующее значение периодической составляющей				
ВВ-10-20/630У3	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,075	0,1	Пружинный
ВВ-10-20-1000У3	10	1000	20	52	20	52	20	20/3	0,075	0,1	Пружинный
ВВ-10-20-1600 У3	10	1600	20	52	20	52	20	20/3	0,075	0,1	Пружинный
ВВ-10-20/630Т3	11	630	20	52	20	52	20	20/3	0,075	0,1	Пружинный
ВВ-10-20/1250Т3	11	1250	20	52	20	52	20	20/3	0,075	0,1	Пружинный
ВВЭ-10-10/630У2	10	630	10	25	10	25	10	10/3	0,05	0,1	Электромагнитный
ВВЭ-10-20/630ХЛ2	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,05	0,1	Электромагнитный
ВВП-10-20/630УХЛ2	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,05	0,1	Электромагнитный
ВВЭ-10-20/1000УХХ2	10	1000	20	52	20	52	20	20/3	0,05	0,1	Электромагнитный
ВВП-10-20/1000УХЛ2	10	1000	20	52	20	52	20	20/3	0,05	0,1	Электромагнитный

Таблица 4.10. Технические данные выключателей нагрузки

Тип	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , А	Наибольший ток отключения, А	Предельный сквозной ток, кА		Номинальный ток включения, кА		Предельный ток термической стойкости/ допустимое время его действия, кА/с
					Амплитудное значение	действующее значение	Амплитудное значение	действующее значение	
ВН-ПУЗ(ТЗ)	6	400	400	630	80	–	0,4	–	31,5/1
	10	200	200	400		–	0,2	–	
ВНР-10/400-10зУЗ	10	400	400	800	25	10	2,5	1	10/1
ВНРп-10/400-10зУЗ	10	400	400	800	25	10	2,5	1	10/1
ВНРп-10/400-10зУЗ	10	400	400	800	25	10	2,5	1	10/1
ВНРп-10/400-1 0зпУЗ	10	400	400	800	25	10	2,5	1	10/1
ВНРп-10/400-10зп3УЗ	10	400	400	800	25	10	2,5	1	10/1
ВНП-16УЗ	6	400	–	–	–	20/6,7	20	–	–
ВНП-17УЗ	6	400	–	–	–	20/14	20	–	–
ВНПз-16УЗ	10	200	–	–	–	12/5,8	9	–	–
ВНПз-ПУЗ	10	200	–	–	–	12/8,6	9	–	–
ВНТЭМ-10-630	10	630	1000	–	80	31,5	80	–	31,5/1
ВНТЭМ-6/630	6	630	1000	–	80	31,5	80	–	31,5/1
ВН-16УЗ	6	400	400	800	25	14,5	5	–	6/10
	10	200	200	400	25	14,3	5	–	6/10

Таблица 4.11. Технические данные отделителей, короткозамыкателей, заземлителей

Тип	U _н , кВ	I _н , А	Предельный сквозной ток главных но- жей, кА	Ток термиче- ской стойко- сти главных ножей/время прохождения тока терми- ческой стой- кости, кА/с	Время отключения / включения, с/с	Тип привода	
						главных ножей	заземляющих ножей
Отделители							
ОД(3)-1а(16)(2)-35/630	35	630	80	12,5/4	0,5/–	ШПОМ	ПРН-ПОМ
ОД(3)-1а(16) (2)-110У/630	110	630	80	22/3	0,5/–	ШПОМ	ПРН-ПОМ
ОД-110/1000У1	110	1000	80	31,5/3	0,38/–	ПРО-1У1	–
ОД-110/800Т1	110	800	80	31,5/3	0,32/–	ПРО-1Т1	–
Короткозамыкатели							
КРН-35У1	35	–	42	12,5/4	–/0,1	ПРК-1У1	–
КЗ-35У-Т1	35	–	42	12,5/4	–/0,12	ПРК-1У1	–
КЗ-110У-У1(Т1)	110	–	32	12,5/3	–/0,18	ПРК-1У1	–
КЗ-110У1	110	–	51	20/3	–/0,14	ПРК-1У1	–
Заземлители							
ЗОН-110М(У)(Т)-1(11)У1	110	400	16	6,3/3	–	ПРН-11	–
ЗР-35У3	35	235	–	90/1	–	ПЧ-50	–
ЗР-36Т3	36	235	–	90/1	–	ПЧ-50	–
ЗР-330-1УХЛ1	330	–	–	–	–	ПРН-1У1	–
ЗР-330-2УХЛ1	330	–	–	–	–	ПРН-1У1	–

5. ШКАФЫ СИЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ

Поток мощности, поступающий в производственное помещение, распределяется в силовых шкафах или щитах (вводно-распределительных устройствах) по разным направлениям [8]. Такие шкафы часто называют комплектными устройствами, в которых можно изменять схему без капитальных переделок. Применение комплектных устройств сокращает стоимость монтажных работ. Эти устройства позволяют вследствие гибкости схем наиболее полно использовать установленное в них электрооборудование.

В шкафах с предохранителями (табл. 5.1) распределение производится чаще всего на 5 или 8 направлений, для этого в шкафу устанавливаются 5 или 8 групп предохранителей, по три предохранителя (один под другим) в каждой группе.

*Таблица 5.1. Шкафы силовые распределительные ШР11
с плавкими предохранителями ПН2-100(250) и (или) НПН2-60*

Обозначение	Рубильник на вводе	Число групп, номинальный ток предохранителей на отходящих линиях	Габариты шкафа, мм
ШР11-73701	P18-353,250А	5×63	1600×500×300
ШР11-73702	P18-353,250А	5×100	1600×500×300
ШР11-73703	P18-353,250А	2×63+3×100	1600×500×300
ШР11-73704	P18-373,400А	8×63	1600×700×300
ШР11-73705	P18-373,400А	8×100	1600×700×300
ШР11-73706	P18-373,400А	8×250	1600×700×300
ШР11-73707	P18-373,400А	3×100+2×250	1600×500×300
ШР11-73708	P18-373,400А	5×250	1600×500×300
ШР11-73709	P18-373,400А	4×63+4×100	1600×700×300
ШР11-73710	P18-373,400А	2×63+4×100+2×250	1600×700×300
ШР11-73711	P18-373,400А	6×100+2×250	1600×700×300

Шкафы ШР11-73705, 73706, 73709, 73710, 73711 могут быть изготовлены с двумя рубильниками на вводе (проходного типа).

Наряду с предохранителями, в силовых шкафах устанавливают автоматические выключатели. Шкафы предназначены для работы во невзрывоопасной окружающей среде, не содержащей газов и паров, разрушающих изоляцию ненасыщенной токопроводящей пылью. Температура окружающей среды лежит в пределах от –5°С до +40°С.

Пункты распределительные ПР9100 утопленного, ПР9200 навесного и ПР9300 напольного исполнения изготавливают со встроенными в них автоматическими выключателями серии А3100 [4].

В распределительных пунктах ПР9111 ... ПР9141; ПР9212 ... ПР9242 в цепях отходящих линий установлены однофазные автоматы А3161 до 30 шт. и трехфазные автоматы А3163 до 10 шт. [8]. В распределительных пунктах ПР9262...ПР9282, ПР9322...ПР9332 установлены линейные автоматы серии А3120 до 12 шт. и А3130 до 4 шт. Некоторые сведения по распределительным пунктам приведены в таблицах 5.2, 5.3.

Таблица 5.2. Технические данные распределительных пунктов серии ПР21

Вид установки	Ток распредел. пункта, А	Вводной автомат	Линейные автоматы, токи расцепителей	Количество
Навесной	630	—	А3714Б, 20...80	12
Навесной	600	А3744С	А3742Б, 160...250	2
Навесной	600	—	А3714Б, 20...160	2
Навесной	600	А3744С	А3714Б, 20...160	4
Навесной	600	А3744С	А3724Б, 160...250	2
Напольный	600	—	А3714Б, 10...160	2
Напольный	420	—	А3714Б, 20...80	2
Напольный	420	А3734С	А3714Б, 20...80	6
Напольный	420	А3734С	А3714Б, 20...80	8

Примечание. Другие типы ПР21 содержат различные сочетания указанных автоматов в количестве 6 или 8 шт.

Таблица 5.3. Технические данные распределительных пунктов серии ПР41

Вид установки	Ток распредел. пункта, А	Вводной автомат	Линейные автоматы, токи расцепителей	Количество
Напольный	250	А3728Н	АЕ2043, 10...63	4
Напольный	250	—	АЕ2043, 10...63	4
Напольный	250	А3728Н	АЕ2041, 10...63	3
Напольный	250	—	АЕ2043, 10...63	5
Напольный	250	А3728Н	АЕ2041, 10...63	3
Напольный	250	—	АЕ2043, 10...63	7
Напольный	250	А3728Н	АЕ2043, 10...63	9

ПР41 используют в установках для компенсации реактивной мощности, в осветительных сетях с лампами ДРЛ. Для этого они могут комплектоваться четырьмя конденсаторами КС1-038-18У3 [4].

Для силовых установок переменного тока поставляются шкафы ПР8501 навесного типа, которые имеют габариты 1000×750×200 мм, и напольного типа с габаритами 1200×750×200 мм [8]. Такие шкафы комплектуются автоматами на вводе типа ВА51-39, ВА55-39 с номинальным током 630 А. В отходящих цепях устанавливается следующее количество автоматов с различными номинальными токами тепловых расцепителей:

Число автоматов ВА51-31 с $I_{ном.т.р.}$ 16...100 А	6	8	10	12	—	2	4	6	8
Число автоматов ВА51-35 с $I_{ном.т.р.}$ 100...250 А	—	—	—	—	4	2	2	2	2

Низковольтные устройства индивидуального исполнения можно размещать в металлических шкафах. Аппаратура размещается как во внутреннем пространстве шкафа, так и на двери (табл. 5.4).

Таблица 5.4. Габариты напольных шкафов одностороннего обслуживания

Высота, Н	Ширина, L	Глубина, В	Полезные размеры двери	
			Н1	L1
1800	600; 700; 800; 1000; 1200	400	1600	435; 535; 635
1800	600; 700; 800; 1000; 1200	600	1600	435; 535; 635
1800	600; 700; 800; 1000; 1200	800	1600	435; 535; 635

Промышленность поставляет также напольные шкафы, которые отличаются от приведенных высотой Н=2200 и полезной высотой двери Н1=2000.

6. РУБИЛЬНИКИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Рубильники и переключатели применяют для создания видимого разрыва электрической цепи, а также для ручного управления асинхронными электродвигателями мощностью до 10 кВт [8]. У переключателей, в отличие от рубильников, в одном положении соединяются подвижные контакты с первым комплектом неподвижных контактов, а в другом положении — со вторым комплектом неподвижных контактов. Так производится, например, реверсирование электродвигателя, перевод с основного на резервное питание. В большинстве случаев в настоящее время применяют, как наиболее безопасные, рубильники и переключатели с боковой рукояткой и рычажным приводом (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Техническая характеристика рубильников и переключателей

Аппарат	2-х полюсный	3-х полюсный	Номинальный ток, А	Сопротивление, мОм
Рубильник	РБ21	РБ31	100	0,6
	РБ22	РБ32	250	0,4
	РБ24	РБ34	400	0,2
	РБ26	РБ36	600	0,08
Рубильник с боковым рычажным или с центральным приводом	—	РПБ31; РПЦ31	100	0,6
	—	РПБ32; РПЦ32	250	0,4
	—	РПБ34; РПЦ34	400	0,2
	—	РПБ36; РПЦ36	600	0,08
Переключатели – разъединители с центральной рукояткой	П21	П31	100	—
	П22	П32	250	—
	П24	П34	400	—
	П26	П36	600	—
Переключатели с боковой рукояткой и рычажным приводом	—	ПБ31; ППБ31	100	—
	—	ПБ32; ППБ32	250	—
	—	ПБ34; ППБ34	400	—
	—	ПБ36; ППБ36	600	—

Наряду с рубильниками и переключателями, для управления электрическими цепями применяют пакетные выключатели и пакетные переключатели, ими также можно вручную управлять асинхронными электродвигателями до 10 кВт (табл. 6.2). Они имеют небольшие размеры, благодаря наличию дугогасительных шайб, двойного разрыва дуги в каждом полюсе и большой скорости размыкания и замыкания контактов. Но «пакетники» не имеют видимого разрыва цепи.

Таблица 6.2. Техническая характеристика 3-х полюсных пакетных выключателей и переключателей

Аппарат	Тип	Номинальный ток при 380 В
Открытые		
Выключатели пакетные	ПВ3-10; ПВ3-25; ПВ3-60	6; 15; 40
	ПВ3-100; ПВ3-250; ПВ3-400	60; 150; 250
Переключатели на два направления с нулевым положением	ППЗ-10/Н2; ППЗ-25/Н2	6; 15
	ППЗ-60/Н2; ППЗ-100/Н2	40; 60
	ППЗ-250/Н2; ППЗ-400/Н2	15; 250
Защищённые		
Выключатели пакетно-кулачковые	ПКВ3-15; ПКПЗ-15Н2	10
	ПКВ3-25; ПКПЗ-25	25
	ПКВ3-40; ПКПЗ-40	40
	ПКВ3-60; ПКПЗ-60	60
	ПКВ3-100; ПКПЗ-100	100
Переключатели для изменения схемы «звезда – треугольник»	ПП-25/1СБ	15
	ПП-60/1С	40

При напряжении 220 В номинальный ток увеличивается на 40%.

Среди выключателей выделяют нажимные выключатели, предназначенные для местного управления маломощными электродвигателями: ПНВ и ПНВС с номинальным током 12,5 А — для управления электродвигателями мощностью до 4,5 кВт на 380 В; ПНВ-Т и ПНВС-Т с номинальным током 5 А — для управления электродвигателями мощностью до 0,6 кВт. Часто нажимные выключатели используют в бытовых электроприборах.

7. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ С ПЛАВКИМИ ВСТАВКАМИ

Предохранители предназначены для защиты электроустановок от больших (свыше 3-кратного от номинального тока) перегрузок и от коротких замыканий [1, 9].

Условия выбора предохранителя

Ток отключения предохранителя должен быть не меньше максимального тока к.з. в месте установки, иначе ток к.з. может разорвать предохранитель. Номинальное напряжение предохранителя должно соответствовать номинальному напряжению сети.

Номинальный ток плавких вставок выбирается наибольшим из следующих условий:

- 1) несрабатывания при максимальном рабочем токе: $I_{н.в.} \geq I_{р.м.}$;
- 2) несрабатывание при пуске одиночного электродвигателя с короткозамкнутым ротором:

$$I_{н.в.} \geq \frac{I_{н.д.}}{k_m} = I_{н.д.} \cdot \frac{k_n}{k_m},$$

где $I_{н.д.}$ — пусковой ток двигателя, А;

$I_{н.в.}$ — номинальный ток плавкой вставки, А;

$I_{н.д.}$ — номинальный ток двигателя, А;

k_n — кратность пускового тока электродвигателя;

k_m — коэффициент тяжести пуска; для двигателей с легким пуском продолжительностью до 5 с $k_m=2,5$; для двигателей с тяжелым пуском продолжительностью более 10 с, а также при частых пусках (более 15 в час) $k_m=1,6$; при защите двигателей с фазным ротором $k_m=1$;

3) если через предохранитель запитываются несколько электродвигателей, то вставка не должна перегорать при полной нагрузке сборки и пуске наиболее мощного двигателя, а также при самозапуске электродвигателей:

$$I_{н.в.} \geq \frac{I_{р.1} + I_{р.2} + \dots + I_{р.n-1} + I_{н.м.}}{k_m}; \quad I_{н.в.} \geq \frac{I_{с.з.}}{k_m},$$

где $I_{р.1} + I_{р.2} + \dots + I_{р.n-1}$ — сумма токов одновременно работающих электродвигателей без самого мощного;

$I_{н.м.}$ — пусковой ток самого мощного электродвигателя;

$I_{с.з.}$ — ток самозапуска — это ток электродвигателей, управляемых автоматикой, одновременно запускаемых после бестоковой паузы в цикле автоматического повторного включения;

4) по условию: $I_{н.в.} \leq I_{доп.}$,

где $I_{доп.}$ — допустимый по нагреву ток проводника.

Предохранители выдерживают ток, равный 130% номинального тока плавкой вставки, неопределенно длительное время, а ток равный 160% номинального — не менее 1 ч.

Основные типы предохранителей:

- *ПР-2* — закрытый патрон разборный, без заполнителя, вставка фигурная из цинка;
- *ПН2* и *ПП17* — закрытый патрон разборный с заполнителем (кварцевый песок) вставка из листовой меди с оловянным шариком;
- *НПН* — неразборные с заполнителем, вставка из меди с оловянным шариком.

В разборный предохранитель, рассчитанный на определенный номинальный ток, могут быть встроены плавкие вставки на номинальные токи, не превышающие этот ток (табл. 7.1-7.3).

Таблица 7.1. Параметры предохранителей

Тип и ном. ток предохранителя	Ном. ток плавкой вставки, А	Предельный ток отключения, кА
ПН2-100	30; 40; 50; 60; 80; 100	50
ПН2-250	80; 100; 120; 150; 200; 250	40
ПН2-400	200; 250; 300; 350; 400	25
ПН2-600	300; 400; 500; 600	25
ПР2-15	6; 10; 15	0,8
ПР2-60	15; 20; 25; 35; 45; 60	1,8
ПР2-100	60; 80; 100	6,0
ПР2-200	100; 125; 160; 200	10,0
ПР2-350	200; 225; 260; 300; 350	11
ПР2-600	350; 430; 500; 600	13
ПР2-1000	600; 700; 850; 1000	15
ПН17-1000	500; 630; 800; 1000	120
Ц27-20	6; 10; 15; 20	0,6

Таблица 7.2. Выбор плавких вставок по условию обеспечения селективности

Ном. ток вставки предохранителя, удаленного от источника/ном. ток вставки смежного предохранителя, А
6/15; 10/20; 15/25; 20/35; 25/45; 30/60; 35/60; 40/80; 45/80; 50/100; 60/125; 80/160; 100/200; 125/225; 160/300; 200/350

Таблица 7.3. Выбор диаметра и количества медных проволок, пригодных для плавких вставок в предохранителе

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, А	Диаметр проволоки, мм	Число параллельных проволок
ПР2-15	6; 10	0,25; 0,35	1; 1
ПР2-60	15; 20; 25; 35; 45; 60	0,45; 0,55; 0,6; 0,75; 0,9; 1,0	1; 1; 1; 1; 1; 1
ПР2-100	80; 100	0,8; 1,0	2; 2
ПР2-200	125; 160	1,1; 0,9	2; 3
ПР2-350	200; 300; 350	1,15; 1,2; 1,3	3; 4; 4
ПН2-100	60; 80; 100	0,55; 0,47; 0,6	4; 6; 6
ПН2-200	125; 160; 200	0,6; 0,6; 0,6	8; 10; 12
НПР-100	60; 80; 100	0,55; 0,47; 0,6	4; 6; 6
НПР-200	100; 160; 200	0,6; 0,6; 0,6	6; 10; 12

Примечание. В качестве плавких вставок применяют медную луженую проволоку. Если используются несколькими параллельными проволоками, то их скручивать нельзя.

Номинальный ток плавкой вставки $I_{н.в.}$ приближенно можно определить по эмпирической формуле, если известен диаметр проволоки $d_{пр}$:

$$I_{н.в.} = a \frac{d_{пр}}{2,5},$$

где a — коэффициент, для меди $a=80$; для свинца $a=10,7$.

По экспериментальным сведениям, в качестве плавкой вставки можно, в исключительных случаях, использовать не только медную проволоку (табл. 7.4).

Таблица 7.4. Диаметры проволок, используемых в качестве плавкой вставки, мм

Ток плавления, А	Медь	Олово	Свинец	Сталь
1	0,05	0,19	0,21	0,12
2	0,09	0,29	0,33	0,19
3	0,11	0,36	0,43	0,25
4	0,14	0,46	0,53	0,30
5	0,16	0,56	0,60	0,42
10	0,25	0,85	0,95	0,55
15	0,33	1,1	1,25	0,72
25	0,46	1,59	1,75	1,01
35	0,57	1,95	2,2	1,28
50	0,73	2,48	2,78	1,61
60	0,83	3,05	3,14	1,81
70	0,92	3,1	3,48	2,01
80	1,00	3,39	3,81	2,2
90	1,08	3,67	4,12	2,38
100	1,16	3,93	4,42	2,55
120	1,31	4,44	4,99	2,88
140	1,45	4,92	5,53	3,19
160	1,59	5,38	6,04	3,49
180	1,72	5,82	6,54	3,77
250	2,14	7,24	8,14	4,70

Для предохранителей, которые вворачиваются по резьбе в гнезда, активная длина плавких вставок около 60 мм. Для таких предохранителей используют свинцовую и медную проволоку (табл. 7.5).

Таблица 7.5. Замена калиброванных вставок для предохранителей пробочного типа

Ном. ток, А	Свинец		Медь	
	диаметр, мм	число проволок	диаметр, мм	число проволок
4	0,6	1	0,1	1
6	0,9	1	0,15	1
10	1,2	1	0,2	1
15	1,6	1	0,3	1
20	1,8	1	0,2	2
25	2,2	1	0,3	2
35	2,2	2	0,3	3
50	—	—	0,3	5
60	—	—	0,3	7

К достоинствам предохранителей относится их простота изготовления, эксплуатации и низкая стоимость.

Следующие недостатки ограничивают их область применения:

- низкая надежность из-за того, что с течением времени плавкие вставки стареют, после чего возможны ложные срабатывания в пусковых режимах;
- при однофазных к.з. плавкая вставка отключает только одну фазу, что приводит к опасному режиму работы двигателя на двух фазах и при неудовлетворительной настройке защиты двигатель выходит из строя;
- плавкая вставка однократного действия;
- в условиях эксплуатации вместо калиброванных плавких вставок применяют другие или проволоку, что нарушает защиту сети;
- плавкие вставки не обеспечивают защиту электродвигателя от перегрузок;
- отсутствует наглядность срабатывания вставки, для ее проверки необходимо использовать токоискатели или вольтметр;
- при увлажнении заполнителя-песка возможны взрывы предохранителей, поэтому в момент включения необходимо их ограждать.

По сравнению с предохранителями, более современными, но более дорогими средствами защиты являются автоматические выключатели.

8. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И УЗО

Автоматический выключатель — это электрический аппарат, предназначенный для отключения электроустановок при протекании аварийных токов и для нечастых коммутаций рабочих токов. Энергия для разрыва контактов автомата при отключении запасается в отключающей пружине. Отключающая пружина сжимается или растягивается в процессе включения. Конструкция автомата предусматривает быстрое замыкание контактов при включении и быстрый разрыв контактов при отключении.

Преимущества автоматов по сравнению с предохранителями:

- при к.з. и перегрузках разрываются три фазы сети, что исключает работу двигателя на двух фазах;
- отключение автомата при к.з. или при перегрузке определяется по среднему положению рукоятки;
- автомат — это аппарат многократного действия, готовность к повторному включению определяется временем остывания теплового расцепителя (обычно несколько минут).

Недостатки:

- сложность изготовления, ремонта и большая стоимость;
- желательно устанавливать в отапливаемых помещениях, иначе из-за увлажнения возможны междуфазные перекрытия изоляции и выход из строя автомата;
- автомат не обеспечивает защиту электродвигателя от перегрузки из-за несоответствия защитной характеристики перегрузочной способности электродвигателя и из-за разброса характеристик, поэтому защита электродвигателей от перегрузки обеспечивается трехполюсными тепловыми реле, действующими на магнитный пускатель.

8.1. Выбор автоматических выключателей для электродвигателей

Электромагнитный расцепитель (отсечка) автомата не должен срабатывать от пускового тока электродвигателя. Пусковой ток можно рассматривать как трехфазное короткое замыкание за сопротивлением двигателя в заторможенном состоянии. Поэто-

му пусковой ток состоит из периодической составляющей, почти неизменной за все время пуска, и апериодической составляющей, затухающей за один, два периода. В справочниках приводится значение периодической составляющей пускового тока.

Ток срабатывания отсечки автомата находится по формуле:

$$I_{с.о.} \geq k_n I_{н.д.},$$

где $k_n = 1,05 \cdot k_z \cdot k_{ан} \cdot k_p$ — коэффициент надежности отстройки отсечки от пускового тока двигателя [9];

1,05 — коэффициент, учитывающий увеличение напряжения в нормальном режиме работы сети на 5%;

k_z — коэффициент запаса [9];

$k_{ан}$ — коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в пусковом токе двигателя [9];

k_p — коэффициент, учитывающий разброс тока срабатывания относительно уставки [9].

Для приближенных расчетов принимают: $I_{н.д.} = k_i I_n$,

где k_i — паспортная кратность пускового тока.

Остальные коэффициенты зависят от исполнения выключателя (табл. 8.1).

Таблица 8.1. Коэффициенты для расчета тока срабатывания отсечки

Тип автомата	Расцепитель	k_z	$k_{ан}$	k_p	k_n
A3700; A3110; АП-50; АЕ20;	Электромагнитный	1,1	1,4	1,3	2,1
A3120; A3130; A3140	Электромагнитный	1,1	1,4	1,15	1,9
АВМ	Электромагнитный	1,1	1,4	1,1	1,8

Большинство электромагнитных расцепителей автоматов имеют собственное время срабатывания 5...10 мс, поэтому они реагируют на апериодическую составляющую пускового тока.

Коэффициент чувствительности защиты: $k_u = \frac{I_{кз}^{(1)}}{I_{с.о.}} = 1,1k_p$,

где $I_{кз}^{(1)}$ — минимальный ток однофазного к.з. на выводах двигателя с учетом токоограничивающего действия электрической дуги (переходное сопротивление $R_{пер.}=15$ мОм).

При отсутствии данных о разбросе токов срабатывания $k_u^{(1)}$ рекомендуется принимать не менее 1,4.

При недостаточной чувствительности отсечки к междуфазным к.з. уточняют значение пускового тока с учетом сопротивления питающей сети, применяют кабели с алюминиевой оболочкой, прокладывают дополнительные зануляющие металлические связи, устанавливают выносную защиту от однофазных к.з., возлагают отключение однофазных к.з. на защиту электродвигателя от перегрузки, если при к.з. не пригорят контакты пускателя [9].

Ток срабатывания защиты от перегрузки автомата определяется из условия возврата защиты после окончания пуска:

$$I_{с.п.} = \frac{k_n I_{н.д.}}{k_в},$$

где k_n — коэффициент надежности, учитывающий неточность настройки и разброс характеристик защиты;

$k_в$ — коэффициент возврата защиты.

Для автоматов с тепловым и комбинированным расцепителем это условие обеспечивается автоматически при выборе номинального тока расцепителя по условию $I_{н.р.} \geq I_{н.д.}$.

Наилучшая защита от перегрузки обеспечивается, если $I_{н.р.} = I_{н.д.}$.

Учитывая, что для тепловых реле $k_в = 1$, в этом случае получаем:

$$I_{с.п.} = k_n I_{н.д.},$$

где $k_n = 1,15$ для автоматов серии АЕ20, АЗ700; $k_n = 1,25$ для АЗ100; $k_n = 1,2 \dots 1,35$ для ВА51.

Если автоматы имеют кратность тока срабатывания отсечки меньше 10, то приходится загроублять защиту от перегрузки, так как приходится увеличивать номинальный ток теплового расцепителя.

8.2. Автоматы серии АЕ20 на напряжение до 660 В

Автоматы имеют условное обозначение АЕ 20 Х Х Х (табл. 8.2).

Таблица 8.2. Структура обозначения
автоматического выключателя серии АЕ20 на примере АЕ 20 Х Х Х

АЕ	Выключатель автоматический
20	Номер разработки
Х	Обозначение номинального тока; 2-16 А, 4-63 А, 5-100 А, 6-160 А
Х	Число полюсов и токовые расцепители: 3 — трехполюсные с электромагнитными расцепителями; 4 — однополюсных с комбинированным расцепителем; 6 — трехполюсных с комбинированным расцепителем.
Х	Модернизированные выключатели

Тепловые расцепители при нагрузке всех полюсов из холодного состояния не срабатывают при токе $1,05I_{н.р.}$ в течение двух часов, а срабатывают при токе $1,25I_{н.р.}$ в течение не более 20 мин. при наличии температурной компенсации и не более 30 мин. — без температурной компенсации. Регулировка тока срабатывания тепловых расцепителей $(0,9 \dots 1,15)I_{н.р.}$. Ток срабатывания отсечки для автоматов серии АЕ $2I_{н.р.}$. Разброс тока срабатывания электромагнитных расцепителей 20% [1, 9] (табл. 8.3).

Селективность автомата и магнитного пускателя присоединения необходимо рассматривать для надежности питания электродвигателей. При к.з. в цепи присоединения начинают одновременно действовать защита выключателя и отключаться пускатель вследствие исчезновения напряжения на втягивающей катушке. Во избежание приваривания контактов пускателя раньше должен отключиться выключатель. Такое селективное действие обеспечивается электромагнитным расцепителем автомата.

Таблица 8.3. Технические данные автоматов АЕ20, АЕ20М

Тип	Номинальный ток выключателя, А	Расцепитель	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Предельный ток отключения, кА
АЕ2026	16	комбинированный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8	0,4
			1; 1,25; 1,6; 2	0,4
			2,5; 3,15; 4,5	0,9
			6,3; 8; 10; 16	1,5
АЕ2046	63	комбинированный	10; 12,5	2,4
			16; 20; 25	3,5
			31,5; 40; 50; 63	4,5
АЕ2056	100	комбинированный	10; 12,5; 16	2,5
			20; 25; 31,5	3,5
			40; 50; 63; 80; 100	6
АЕ2066	160	комбинированный	16; 20; 25; 31,5	3,5
			40; 50; 63; 80	9
			100; 125; 160	11,5

8.3. Автоматические выключатели серии АЗ100, АП-50, АВМБ

Выключатели АЗ100, АП-50, АВМБ (табл. 8.4-8.6) предназначены для защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий, а также для нечастых (не более одного раза в час) оперативных коммутаций силовых электрических сетей. Они рассчитаны на установку в закрытых электроустановках при температуре окружающей среды от +5 до +40°С и относительной влажности не более 80% [9].

Таблица 8.4. Технические данные автоматов серии АЗ100, АП-50

Тип	$I_{н. в.}, А$	Исполнение расцепителя	Ном. ток теплового расцепителя $I_{н.р.}, А$	Отсечка	Предельный ток отключения, кА
АЗ163	50	тепловой	15; 20; 25	$10I_{н.р.}$	2; 2,5; 3
			30; 40; 50	$10I_{н.р.}$	3,5; 4; 4,5
АЗ114/1	100	комбинированный	15; 20; 25	$10I_{н.р.}$	3,2; 4; 5
			30; 40; 50	$10I_{н.р.}$	7; 8,5; 10
			60; 80; 100	$10I_{н.р.}$	11; 11,5; 12
АЗ124	100	комбинированный	15; 20; 25	430 А	5,5; 6; 9
			30; 40; 50	600 А	10; 13; 19
			60; 80; 100	800 А	20; 22; 23
АЗ134	200	комбинированный	120; 150; 200	$7I_{н.р.}$	19; 23; 30
АП-50	50	комбинированный	1,6; 2,5; 4	$11I_{н.р.}$	0,3; 0,4; 0,6
АП-50-ЗМТ	50	комбинированный	6,4; 10; 16	$11I_{н.р.}$	0,8; 1,5; 1,5
			25; 40; 50	$11I_{н.р.}$	1,5; 1,5; 1,5

*Таблица 8.5. Технические данные трехполюсных автоматов
серии АЗ700 с комбинированным расцепителем*

Тип	Ном. ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Отсечка, А	Предельный ток отклю- чения, кА	Допустимый ударный ток, кА
АЗ716	160	16; 20;	630	3,9; 7,1	5,5; 10
		25; 32		10; 14,2	15; 20
		40; 50; 63		14,2; 17,7; 17,7	20; 20; 30
		80; 100	1600	17,7; 17,7	45; 60
		125; 160		17,7; 17,7	60; 75
АЗ726	250	160; 200; 250	2500	24,8; 24,8; 24,8	75; 75; 75
АЗ736	400	250	2500	35,5	65
		320	3200	35,5	100
		400	4000	35,5	100
АЗ746	630	400; 500; 630	6300	35,5; 35,5; 35,5	100

Таблица 8.6. Автоматические выключатели АВМБ

Тип, ном. ток, А	Ном. ток расцепителя, А	Кол-во максим. расцепит.	Кол-во дистанц. расцепит.	Отсечка, А	Ток от- ключе- ния, кА	Допустимый ударный ток, кА
АВМ4Б 400	120	2; 3	1; 0	240; 600	10	40
	150			300; 750		
	250			500; 1250		
	400			800; 2000		
ВМ10Б 1000	600	2; 3	1; 0	1200; 3000	10	40
	800			1600; 4000		
	1000			2000; 5000		

8.4. Автоматические выключатели серии ВА50, ВА75

Выключатели серии ВА50 [9, 10] выпускаются промышленностью с той целью, чтобы заменить в дальнейшем устаревшие серии АЕЗ700, АЕ20 и др. Выключатели серии ВА75 должны полностью заменить серии АВМ и «Электрон» с токами до 1600 А. ВА50 поставляются с токами до 100 А только стационарного исполнения, на 160 А стационарного и втычного исполнения, на токи больше 160 А стационарного и выдвижного исполнения (табл. 8.7-8.9).

При заказе для дистанционного включения некоторые типы автоматов ВА50 поставляются с электромагнитным приводом, а ВА75 с электродвигательным приводом. Электроприводы включения поставляются на напряжение постоянного тока 220 В или переменного тока 220...240 В и надежно действуют при отклонениях напряжения от 0,85 до 1,1 U_n .

По заказу выключатели ВА50 поставляются со следующими расцепителями и контактами:

- с независимым расцепителем при отсутствии дистанционного привода;
- с нулевым расцепителем минимального напряжения без выдержки или с выдержкой времени;
- со свободными вспомогательными контактами до 5 шт.

Все выключатели ВА51, ВА52 имеют комбинированный расцепитель (электромагнитный и тепловой). В зоне перегрузки разные типы срабатывают при токах $(1,2 \dots 1,35)I_{н.т.р.}$. Выключатели ВА53, ВА55, ВА75 имеют полупроводниковые расцепители.

Выключатели ВА51 и ВА51Г с приводом для дистанционного включения не поставляются.

Таблица 8.7. Технические данные автоматов ВА51

Тип	Ном. ток выключателя, А	Ном. ток теплового расцепителя, А	Отсечка по отношению к ном. току тепл. расцепителя	Предельный ток отключения, кА/cosφ
ВА51Г-25	25	1,0; 1,25; 1,6	14	1,3/0,7
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5		1,5/0,7
ВА51-25	25	6,3; 8,0	7; 10	1,5/0,7
		10; 12,5		2,0/0,7
		16; 20; 25		3,0/0,7
ВА51-31-1	100	6,3; 8,0; 10; 12,5	3; 7; 10	2,0/0,9
ВА51Г-25	100	16	3; 7; 10	2,5/0,9
		20; 25		3,5/0,8
		31,5; 40; 50; 63; 80		5,0/0,7
		100		7,0/0,5
ВА51-31	100	6,3; 8,0	3; 7; 10	2,0/0,9
		10; 12,5		2,5/0,9
ВА51Г-31	100	16; 20; 25	3; 7; 10	3,8/0,8
		31,5; 40; 50; 63		6,0/0,7
		80; 100		7,0/0,5
ВА51-33	160	80; 100; 125; 160	10	12,5/0,3
ВА51Г-33	160	80; 100; 125; 160	10	2,5/0,3
ВА51-35	250	80; 100; 125; 160	12	15/0,5
		200; 250		
ВА51-37	400	250; 320; 400	10	25/0,25
ВА51-39	630	400; 500; 630	10	35/0,25

Таблица 8.8. Технические данные автоматов ВА-52

Тип	Ном. ток выключателя, А	Ном. ток теплового расцепителя, А	Отсечка по отношению к ном. току тепл. расцепителя	Предельный ток отключения, кА/cosφ
ВА52-31	100	16; 20; 25	3; 7; 10	12/0,3
ВА52Г-31	100	31,5; 40	3; 7; 10	15/0,3
		50; 63		18/0,3
		80; 100		25/0,3
ВА52-33	160	80; 100	10	28/0,25
ВА52Г-33	160	125; 160	10	35/0,25
ВА52-35	250	80; 100; 125; 160; 200	12	30/0,25
		250		
ВА52-37	400	250; 320; 400	10	30/0,25
ВА52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	10	40/0,25

Таблица 8.9. Технические данные автоматов ВА53; ВА55; ВА75 с полупроводниковым максимальным расцепителем

Тип	Ном. ток выключателя, А	Ном. ток расцепителя, А	Отсечка по отношению к ном. току расцепителя	Время срабатывания отсечки, с.	Предельный ток отключения, кА
ВА53-37 ВА55-37	160	160	2; 3; 5; 7; 10	0,3	20
	250	250			
	400	400			
ВА53-39 ВА55-39	160	160	2; 3; 5; 7; 10	0,3	25
	250	250			
	400	400			
	630	630			
ВА53-41	1000	1000	2; 3; 5; 7	0,2	25
ВА55-41	1600	1600	2; 3; 5; 7	0,2	31
ВА53-43 ВА55-43	2500	2500	2; 3; 5	0,2	36
ВА75-45	2500	2500	2; 3; 5; 7	0,2	36
ВА75-47	4000	4000	2; 3; 5	0,2	45

Выключатели с полупроводниковыми расцепителями допускают регулировку тока уставки тремя ступенями в пределах от I_n до $0,8I_n$ или от I_n до $0,63I_n$. Например, автомат ВА55-37 на 250 А может иметь уставки по току 250; 200; 175,5 А. Время срабатывания зависит от протекающего тока и регулируется тремя ступенями, при $6I_n$ уставки время составляет 4; 8; 16 с. При однофазных коротких замыканиях автоматы срабатывают при номинальном токе расцепителя.

8.5. Автоматические выключатели серии «ЭЛЕКТРОН»

«Электрон» — серия автоматических выключателей, предназначенных для работы в электрических цепях с номинальным напряжением постоянного тока до 440 В, переменного тока до 660 В, частотой 50 или 60 Гц (табл. 8.10-8.12). Выключатели выполняют функции проведения тока в нормальном режиме и его отключения при КЗ и перегрузках, а также при нечастых, до 3 раз в час, оперативных коммутациях упомянутых цепей. Выключатели с номинальным базовым током максимально-токовой защиты до 1600 А допускают нечастый пуск асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Автоматические выключатели «Электрон» выпускаются в исполнении:

- «Электрон-06» — с ручным и электромагнитным приводом, остальные только с электромагнитным;
- в стационарном с задним присоединением, в выдвижном с задним присоединением. В последнем случае выключатель комплектуется рамой с установленными на ней неподвижными контактами;
- с независимым расцепителем;
- с минимальным расцепителем напряжения;
- все выключатели имеют 8 вспомогательных контактов — 4з и 4р;
- способ привода (ручной, дистанционный или электромагнитный привод) оговаривается.

Таблица 8.10. Предельная коммутационная способность автоматов

на постоянном токе	при 380 В — 40...115 кА
	при 660 В — 40...85 кА
на постоянном токе	при 220 В — 25...65 кА
	при 440 В — 40...85 кА

Таблица 8.11. Технические данные автоматов серии «Электрон»

Тип выключателя		Э06С	Э06В	Э16В	Э25В	Э25С	Э40В	Э40С
Номинальный ток, I _н		250; 400; 630; 800; 1000		630; 1000; 1600	1600; 2500	1000; 1600; 2500; 4000	2500; 4000	4000; 6300
Ном. напряж., В	пер. тока	660						
	пост. тока	440						
Пред. ток откл., I _{откл}	~380В	40	45	50	65	70	115	
	~660В	20	30	35	55	50	85	
	=220В	35	55		60	65		
	=440В	25	45		50	55		
Уставки ном. тока максим. расцепи- теля I _р , кратные I _н	пер. тока	0,8; 0,85; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1; 1,2; 1,25;						
	пост. тока	0,8; 1,0; 1,25;						
Уставки по току при пере- грузке, xI _р		1,25						
Уставки по току при к.з., xI _р	пер. тока	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	1,25					
	пост. тока	2; 4; 6	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	3; 4; 5; 6; 7			3; 4; 5	
Ток сраб. защиты мгн. дейст. (отсечки), кА		21	33	50	60		56	
вид привода	ручной	+	—					
	эл-магн.	+						
Независ. расц. (пред. срабат. 0,7 - 1,2 U _н)	50Гц	127; 220; 240; 380; 400; 415; 440; 660						
	60Гц	127; 220; 240; 380; 400; 415; 440						
	пост. тока	24; 48; 110; 220						
Миним. расц. напр., откл. при сниж. напр. 70-35% U _н		127; 220; 240; 380; 400; 415; 440; 660 (50, 60 Гц)						
		110; 220; 440 (пост. тока)						
Эл-магн. привод 0,85-1,1 U _н . время откл. 4 с. мощность 1,5 кВА		127; 220; 230; 240 (50 Гц)						
		220; 230 (60 Гц)						
		110; 220 (пост. тока)						

Примечание. Выдержка времени в зоне перегрузки не калибруется.

Таблица 8.12. Сопротивления контактов и расцепителей автоматов

Ном. ток, А	Сопротивление контактов, мОм	Индуктивное сопротивление расцепителей, мОм	Активное сопротивление расцепителей, мОм
50	1,3	2,7	5,5
70	1,0	1,3	2,4
100	0,75	0,86	1,3
160	0,65	0,55	0,74
200	0,6	0,28	0,36
400	0,4	0,1	0,15
600	0,25	0,084	0,12

8.6. Устройства защитного отключения (УЗО)

Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток, наряду с устройствами защиты от сверхтока, относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания. Защита от сверхтока (при применении защитного зануления) обеспечивает защиту человека при косвенном прикосновении — путем отключения автоматическими выключателями или предохранителями поврежденного участка цепи при коротком замыкании на корпус.

УЗО применяется для комплектации вводно-распределительных устройств (ВРУ), распределительных щитов (РЩ), групповых щитков (квартирных и этажных), устанавливаемых в общественных зданиях — детских дошкольных учреждениях, школах, профессионально-технических, средних, специальных и высших учебных заведениях, гостиницах, санаториях, мотелях, библиотеках, крытых спортивных и физкультурно-оздоровительных учреждениях, бассейнах, саунах, театрах, клубах, кинотеатрах, магазинах, предприятиях общественного питания, предприятиях бытового обслуживания, торговых павильонах, киосках и т.п.; жилых зданиях — индивидуальных и многоквартирных, дачах, садовых домиках, общежитиях, бытовых помещениях и т.п.; в административных зданиях, производственных помещениях — цехах, мастерских, АЗС, автомойках, ангарах, гаражах, складских помещениях и т.п.; а также для защиты отдельных потребителей электроэнергии (табл. 8.13).

Затраты на установку УЗО несоизмеримо меньше возможного ущерба — гибели и травм людей от поражения электрическим током, возгораний, пожаров и их последствий, произошедших из-за неисправностей электропроводки и электрооборудования. Если учесть, что стоимость одного УЗО не превышает стоимости простого бытового электроприбора, а возможный ущерб исчисляется огромными суммами, то становится совершенно очевидной и не требующей дополнительных доказательств необходимость скорейшего и самого широкого внедрения УЗО нового поколения во всех электроустановках.

Таблица 8.13. Технические данные УЗО-ВАД2

Обозначение	Ном. ток I_n , А	Кол-во полюсов	Ном. откл. дифферен- циальный ток $I_{\Delta n}$, мА	Ном. вкл. и откл. способность I_m , А	Ном. способ- ность вкл. и откл. дифф. тока $I_{\Delta m}$, А
УЗО-ВАД2-10-2-010	10	2	10	1500	1500
УЗО-ВАД2-10-2-030	10	2	30	1500	1500
УЗО-ВАД2-16-2-010	16	2	10	1500	1500
УЗО-ВАД2-16-2-030	16	2	30	1500	1500
УЗО-ВАД2-25-2-030	25	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-25-2-100	25	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-2-030	32	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-2-100	32	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-40-2-030	40	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-40-2-100	40	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-50-2-030	50	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-50-2-100	50	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-63-2-030	63	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-63-2-100	63	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-10-4-030	10	4	30	1500	1500
УЗО-ВАД2-10-4-100	10	4	100	1500	1500
УЗО-ВАД2-16-4-030	16	4	30	1500	1500
УЗО-ВАД2-16-4-100	16	4	100	1500	1500
УЗО-ВАД2-25-4-030	25	4	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-25-4-100	25	4	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-4-030	32	4	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-4-100	32	4	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-40-4-100	40	4	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-50-4-100	50	4	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-63-4-100	63	4	100	3000	3000

9. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Для подключения измерительных приборов с токовыми обмотками к силовым цепям в рассечку силовой цепи устанавливают трансформаторы тока [9]. Трансформаторы тока выбирают по номинальному напряжению и по току первичной цепи. Необходимо стремиться к тому, чтобы максимальный ток нагрузки был лишь немного меньше номинального тока первичной обмотки. Номинальный ток вторичной обмотки всегда в сетях 380 В равен 5 А. Для питания счетчиков электроэнергии необходимо выбирать трансформаторы тока с классом точности 0,5 (табл. 9.2, 9.3).

Трансформаторы тока, в отличие от силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения, работают с короткозамкнутой вторичной обмоткой. Размыкание вторичной обмотки опасно для работы самого трансформатора тока, из-за перегрева железа вследствие его насыщения. Кроме этого из-за насыщения железа на разомкнутой вторичной обмотке появляются пики перенапряжений с амплитудой до нескольких кВ, что опасно для обслуживающего персонала. Поэтому необходимо стремиться, чтобы нагрузка, подключенная ко вторичной обмотке трансформатора тока (табл. 9.1), имела как можно меньше сопротивление. Для этого выполняют условие:

$$S_{\text{доп.}} \geq S_{\text{нагр.}} \text{ или } Z_{\text{доп.}} \geq Z_{\text{нагр.}}$$

где $S_{\text{доп.}}, Z_{\text{доп.}}$ — допустимая для данного трансформатора тока нагрузка;
 $S_{\text{нагр.}}, Z_{\text{нагр.}}$ — мощность, сопротивление внешней вторичной цепи трансформатора тока.

$$Z_{\text{нагр.}} = Z_{\text{приб. сум.}} + Z_{\text{пров.}} + Z_{\text{конт.}},$$

где $Z_{\text{приб. сум.}}$ — суммарное сопротивление токовых катушек приборов, подключенных к трансформатору тока;
 $Z_{\text{пров.}}$ — сопротивление проводов от трансформатора тока до приборов;
 $Z_{\text{конт.}}$ — сопротивление переходных контактов, принимают для одного контакта $Z_{\text{конт.1}}=0,01 \text{ Ом}$.

Таблица 9.1. Сопротивление токовых катушек приборов и реле

Приборы	Сопротивление, Ом
Амперметр электромагнитной системы	0,07
Счетчик активной энергии	0,04
Счетчик реактивной энергии	0,02
Ваттметр	0,05
Фазометр	0,09
Реле токовое электромагнитное	0,01
Реле токовое индукционное	0,15

Сопротивление проводов находят по сечению и по длине от трансформатора тока до самого удаленного прибора без учета их индуктивного сопротивления.

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{\rho \cdot l}{F},$$

где ρ — удельное сопротивление проводов. В сетях 380 В в цепях трансформаторов тока используют алюминиевые провода $\rho_{\text{Al}}=0,0283 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho_{\text{Cu}}=0,0172 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
 F — площадь поперечного сечения, в цепях трансформаторов тока чаще всего применяют провода сечением 2,5 или 4 мм², при больших сечениях соединительных проводов нужны переходные клеммы для подключения к счетчикам.

Таблица 9.2. Технические данные трансформаторов тока

Тип трансформатора тока	Ном. напряжение, В	Ном. ток первичной обмотки, А	Класс точности	Вторичная нагрузка	
				Ом	ВА
ТК-20	660	15; 20; 30; 40; 50; 75	0,5	0,2	5
		100; 150; 200; 250; 300			
		400; 600; 800; 1000			
Т-066	660	15; 20; 30; 40; 50; 75	0,5	0,2	5
		100; 150; 200; 250; 300			
		400; 600; 800; 1000			
ТК-40	660	15; 20; 30; 40; 50; 75	0,5	0,4	10
		100; 150; 200; 250; 300			
		400; 600; 800; 1000			
ТК-120	660	100; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	1,0	1,2	30

Если при расчете вторичной нагрузки трансформатора тока окажется, что она превышает допустимую, то необходимо увеличивать сечение проводов, уменьшать протяженность вторичных цепей или уменьшать количество подключаемых приборов.

Таблица 9.3. Сопротивления первичных обмоток катушечных трансформаторов тока, в мОм

Коэф. трансформации	Индуктивное сопротив.	Активное сопротив.	Коэф. трансформации	Индуктивное сопротив.	Активное сопротив.
20/5	67	42	150/5	1,2	075
30/5	30	20	200/5	0,67	0,42
40/5	17	11	300/5	0,3	0,2
50/5	11	7	400/5	0,17	0,11
75/5	4,8	3	500/5	0,07	0,05
100/5	2,7	1,7	—	—	—

10. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ 0,4 КВ

Для защиты отходящих от ТП линий 380/220 В от коротких замыканий применяют автоматы серий АП-50; АЗ700; АЕ-2000; АВМ; ВА-50 и плавкие предохранители ПН2 и ПР2. Следует иметь ввиду, что эти защиты не отключают линию с проводом, лежащим на земле без касания нулевого провода [7].

Номинальный ток теплового расцепителя автомата и плавкой вставки предохранителя определяют по условию:

$$I_{т.р.(в)} \geq 1,1(I_{макс.} - I_{н.д.} + 0,4I_{н.д.}),$$

где $I_{макс.}$ — максимальный рабочий ток линии;

$I_{н.д.}, I_{п.д.}$ — номинальный и пусковой токи самого мощного электродвигателя, подключенного к линии. Если $I_{н.д.} < 0,1I_{макс.}$, то его можно не учитывать.

Выбирается тепловой расцепитель или вставка с ближайшим большим номинальным током.

Коэффициент чувствительности защиты определяется по формуле:

$$k_{\chi} = \frac{I_{к.з.мин.}}{I_{н.т.р.(н.в.)}} \geq 3.$$

Выбранному тепловому расцепителю соответствует ток срабатывания отсечки автомата. Необходимо, чтобы электромагнитный расцепитель не срабатывал при быстро протекающем токе. Этот ток находится по выражению:

$$I_{c.o.} \geq 1,2 \left(\sum I_n + \sum I_p \right),$$

где $\sum I_n$ — максимальная сумма одновременно пускаемых электродвигателей;
 $\sum I_p$ — максимальный ток линии без суммы номинальных токов одновременно пускаемых двигателей.

Токовая защита ЗТИ-0,4

Защита ЗТИ-0,4 предназначена для отключения присоединений 0,4 кВ при однофазных к.з., междуфазных к.з. и при падении фазного провода на землю. Она устанавливается в комплекте с автоматом, имеющим независимый расцепитель. Через трансформаторы этой защиты пропускаются силовые провода без разрыва и к ней подводится питание 220 В для работы полупроводниковой схемы. В защите уставки изменяются ступенчато отдельно для междуфазных к.з. и для однофазных к.з. Чаще всего ЗТИ-0,4 устанавливают на трансформаторных пунктах в цепях отходящих линий. Но её желательно устанавливать на вводе тех производственных помещений, где предохранители и автоматы не обеспечивают требуемой чувствительности при однофазных к.з. (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Технические параметры защиты ЗТИ-0,4

Вид защиты	Уставка по току срабатывания, А	Уставка по времени, с
Номинальный ток защищаемой линии, А	63; 100; 160	—
Защита от междуфазных к.з.	100; 160; 250	$4,2(I_{к.з.}/I_{уст.} - 1) \cdot 40\%$
Защита от однофазных к.з.	40; 80; 120	$4,2(I_{к.з.}/I_{уст.} - 1) \cdot 40\%$
Защита от замыканий на землю	3...7	0,1...0,2

Любая защита должна обеспечить безопасную эксплуатацию электроустановок. Время ее действия должно быть таким, чтобы человек, оказавшийся в зоне аварии, не пострадал. Для этого существуют нормы на предельное время срабатывания защиты [11]. С увеличением напряжения прикосновения время воздействия тока на человека должно уменьшаться (табл. 10.2).

Таблица 10.2. Наибольшее допустимое напряжение прикосновения при аварийном режиме электроустановок при частоте 50 Гц

Род электроустановок	Продолжительность воздействия тока, с								
	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1	>1
Производственные	650	500	250	165	125	100	55	50	36
Бытовые	220	200	100	70	55	40	30	25	12

11. МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного и автоматического управления электроустановками [12].

С 1982 года промышленность выпускает пускатели серии ПМЛ (табл. 11.1, 11.2).

Пускатели имеют такое условное обозначение: ПМЛ-Х Х Х Х ХХ Х

Таблица 11.1. Структура обозначения магнитных пускателей ПМЛ-Х Х Х Х ХХ Х

Индекс	Расшифровка
Х	Величина пускателя по номинальному току: 1-10 А; 2-25 А; 3-40 А; 4-63 А; 5-80 А; 6-125 А; 7-200 А.
Х	Исполнение пускателей по назначению и наличию теплового реле: 1 — нереверсивный пускатель без теплового реле; 2 — нереверсивный пускатель с тепловым реле; 5 — реверсивный пускатель без теплового реле с электрической и механической блокировкой; 6 — реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировкой; 7 — пускатель для переключения обмоток электродвигателя в звезду или в треугольник
Х	Исполнение пускателей по степени защиты и по наличию кнопок на кожухе: 0 — степень защиты IP00-незащищенный, без кнопок; 1 — степень защиты IP54 без кнопок; 2 — степень защиты IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 3 — степень защиты IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп», с сигнальной лампой
Х	Число контактов вспомогательной цепи (блок-контактов): 0 — для пускателей на 10 и 25 А один замыкающий контакт; для пускателей на 40...200 А один замыкающий и один размыкающий контакты; 1 — для пускателей на 10 и 25 А один размыкающий контакт; для пускателей на 80...200 А 2 зам.+2 разм. контакта; 3 — 3 зам. +3 разм. на 80...200 А; 4 — 3 зам. +1 разм. на 80...100 А
ХХ	Климатическое исполнение и категория размещения
Х	Исполнение по износостойкости: А — до 4 млн циклов; Б — 1 млн циклов; В — 0,3 млн циклов

Для дистанционного управления устанавливаются чаще всего двух- или трехкнопочные посты (станции). Контакты кнопок включаются в цепь катушки пускателя, поэтому при исчезновении питания катушка обесточивается и при повторной подаче напряжения пускатель не включается без вмешательства человека. Этим самым исключается самозапуск электродвигателя после автоматического повторного включения напряжения на питающую линию.

В режиме автоматического управления пускатель обычно через промежуточные усилители реагирует на состояние датчиков. Состояние датчиков зависит от регулируемого параметра. В этом режиме возможен самозапуск электродвигателя после восстановления исчезнувшего напряжения на питающей линии.

ПМЛ выпускают с номинальным током до 200 А. Пускатели на токи 10...63 А имеют прямоходовую магнитную систему Ш-образного типа, контактная система которой расположена перед магнитной системой.

Таблица 11.2. Характеристика магнитной системы ПМЛ

Величина пускателя	Потребляемая катушкой мощность, ВА		Время при номинальном напряжении, мс	
	при включении	при удержании	при замыкании	при размыкании
1	84	9,5	18±6	10±5
2	115	9,5	22±6	—
3	235/275	25/31	19±6	11±6
4	235/275	25/31	19±6	11±6
5	380/455	36/45	63±22	15±5
6	510/600	46/58	55±30	15±5
7	800/996	57/75	42±13	15±5

Примечание. Вспомогательные контакты допускают ток до 10 А. Номинальное напряжение втягивающих катушек при частоте 50 Гц: 24; 36; 42; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 500; 600 В.

На дугогасительной камере пускателей на 10 и 25 А имеются направляющие для установки дополнительных контактных приставок типа ПКЛ с различным количеством контактов или приставок с пневматическим реле времени. Пускатели открытого исполнения, например ПМЛ-2200, устанавливаются в закрытых щитах, пультах.

Контактные приставки к ПМЛ:

ПКЛ-1104 1 замыкающий+1 размыкающий контакты; ПКЛ-2004 2 зам. контакта; ПКЛ-2204 2 зам.+2 разм.; ПКЛ-4004 4 зам.; ПКЛ-0404 4 разм. контакта.

Пневмоприставки к ПМЛ:

ПВЛ-11 выдержка времени 0,1...30 с при включении;
ПВЛ-12 выдержка времени 10...180 с при включении;
ПВЛ-21 выдержка времени 0,1...30 с при отключении;
ПВЛ-22 выдержка времени 10...180 с при отключении.

12. ТЕПЛОВЫЕ РЕЛЕ

Для защиты трехфазных электродвигателей с короткозамкнутым ротором от длительных перегрузок, а также от перегрузок, возникающих при обрыве одной из фаз используют трехполюсные тепловые реле. Эти реле включаются в рассечку силовой цепи, а контакты реле управляют работой пускателя. Возврат контактов реле в исходное состояние осуществляется вручную. Трехполюсное исполнение реле, применение несменяемых нагревательных элементов и ускоренное срабатывание при обрыве фазы повышают надежность работы двигателей по сравнению с защитами однополюсными и двухполюсными реле. В настоящее время применяют два вида трехполюсных реле: РТТ [13] (табл. 12.1, 12.2) и РТЛ [14] (табл. 12.3, 12.4).

Таблица 12.1. Структура обозначения
электротепловых токовых реле серии РТТ - Х Х Х Х Х4

Индекс	Расшифровка
Х	Исполнение реле по номинальному току: 0 — на 10 А; 1 — на 25 А; 2 — на 63 А; 3 — на 160 А; 4 — на 630 А
Х	Способ установки реле: 1 — нормальное исполнение с крепежной скобой для индивидуальной установки; 2 — специальное исполнение на токи до 160 А с крепежными скобами для комплектации с пускателями серии ПМА; 3 — исполнение для втычного присоединения реле к пускателю
Х	Род контактов вспомогательной цепи: 1 — исполнение с одним размыкающим контактом; отсутствие цифры — исполнение с переключающим контактом
Х	Исполнение реле по чувствительности к обрыву фазы электродвигателя: Б — без ускоренного срабатывания при обрыве фазы; отсутствие буквы — с ускоренным срабатыванием при обрыве фазы
Х	Климатическое исполнение (УХЛ; О) и категория размещения

Таблица 12.2. Характеристика тепловых реле РТТ при 40 °С

Ном. ток тепл. эле- мента, А	Диапазон регулir. то- ка несраба- тыв., А	Ном. ток тепл. эле- мента, А	Диапазон регулir. то- ка несраба- тыв., А	Ном. ток тепл. эле- мента, А	Диапазон регулir. то- ка несраба- тыв., А
РТТ-0, I _{ном.} =10А		РТТ-1, I _{ном.} =25А		РТТ-2, I _{ном.} =63А	
0,2	0,17...0,23	0,2	0,17...0,23	10	8,50...11,5
0,25	0,21...0,29	0,25	0,21...0,29	12,5	10,6...14,3
0,32	0,27...0,37	0,32	0,27...0,37	16	13,6...18,4
0,4	0,34...0,46	0,4	0,34...0,46	20	17,0...23,0
0,5	0,43...0,58	0,5	0,43...0,58	25	21,2...28,7
0,63	0,54...0,72	0,63	0,54...0,72	32	27,2...36,8
0,8	0,68...0,92	0,8	0,68...0,92	40	34,0...46,0
1	0,85...1,15	1	0,85...1,15	50	42,5...57,5
1,25	1,1...1,4	1,25	1,1...1,4	63	52,5...63
1,6	1,36...1,8	1,6	1,36...1,8	—	—
2	1,7...2,3	2	1,7...2,3	РТТ-3 I _{ном.} =160А	
2,5	2,1...2,9	2,5	2,1...2,9	50	42,5...57,5
3,2	2,7...3,7	3,2	2,7...3,7	63	53,5...72,3
4	3,4...4,6	4	3,4...4,6	80	68...92
5	4,25...4,75	5	4,25...4,75	100	85...115
6,3	5,35...7,23	6,3	5,35...7,23	125	106...143
8	6,8...9,2	8	6,8...9,2	160	136...160
10	8,5...10	10	8,5...11,5	—	—
—	—	12,5	10,5...14,3	РТТ-4 I _{ном.} =630А	
—	—	16	13,6...18,4	125	106...143
—	—	20	17...23	160	136...184
—	—	25	21...25	200	170...230
—	—	—	—	250	217...287
—	—	—	—	320	272...368
—	—	—	—	400	340...460
—	—	—	—	500	425...575
—	—	—	—	630	535...630

Времятоковые характеристики реле, обратно-зависимые от тока, приводятся в справочниках.

Реле типов РТЛ-1000 и РТЛ-2000 могут устанавливаться индивидуально при помощи колодок зажимов, а также крепиться непосредственно к пускателям серии ПМЛ. Реле типов РТЛ-3000 служат для индивидуальной установки и присоединяются перемычками к контакторам ПМЛ.

Реле термически стойки при однократной нагрузке 18-кратным номинальным током несрабатывания в течение 0,5 с на токи до 10 А и 1 с — на токи свыше 10 А.

Время срабатывания при увеличении тока до 1,2 номинального — 20 мин., при шестикратной перегрузке — 4,5...12 с. Время возврата — не менее 90 с.

Таблица 12.3. Структура обозначения
электротепловых токовых реле серии РТЛ-Х ХХХ Х4

Индекс	Расшифровка
Х	Номинальный ток: 1 — 25 А; 2 — 80 А; 3 — 200 А
ХХХ	Исполнение по току несрабатывания
Х	Климатическое исполнение (О; ТВ) и категория размещения

Таблица 12.4. Характеристика тепловых реле РТЛ при 40 °С

Тип реле	Диапазон регулир. тока несрабат., А	Тип реле	Диапазон регулир. тока несрабат., А
РТЛ-1		РТЛ-2	
РТЛ-100104	0,1...0,17	РТЛ-206304	23...32(30)
РТЛ-100204	0,16...0,26	РТЛ-206504	30...41(40)
РТЛ-100304	0,24...0,4	РТЛ-206704	38...52(50)
РТЛ-100404	0,38...0,65	РТЛ-206904	47...64(57)
РТЛ-100504	0,61...1,00	РТЛ-206104	54...74(66)
РТЛ-100604	0,95...1,6	РТЛ-206304	63...86(80)
РТЛ-100704	1,5...2,6	РТЛ-3	
РТЛ-100804	2,4...4,0	РТЛ-310504	75...105(105)
РТЛ-101004	3,8...6,0	РТЛ-312504	90...125(125)
РТЛ-101204	5,5...8,0	РТЛ-316004	115...160(160)
РТЛ-101404	7,0...10,0	РТЛ-320004	145...200(200)
РТЛ-101604	9,5...14,05	—	—
РТЛ-102104	13...19	—	—
РТЛ-102204	18...25	—	—

В скобках указаны значения предельно допускаемого длительного тока при окружающей температуре +40°С.

Мощность, потребляемая одним полюсом, не превышает для РТЛ-1000 — 2,8 Вт; для РТЛ-2000 — 5,7 Вт; для РТЛ-3000 — 12,3 Вт.

13. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Осветительные щитки (табл. 13.1-13.3) предназначены для приема и распределения электрической энергии и защиты от перегрузок и токов короткого замыкания групповых линий в сетях с глухозаземленной нейтралью. Щитки используются для нечастых (не более 6 в час) оперативных включений и отключений цепей [15]. Номинальный ток расцепителей, одинаковый для всех автоматов одного щитка, равен 16, 20 или 25 А (указывается в заказе).

Для питания сетей местного освещения применяют ящики с понижающими трансформаторами.

Таблица 13.1. Щитки для местного освещения

Тип	Трансформатор ОСО-0,25	Защита трансформатора	Количество цепей	Защита отхо- дящих линий
ЯТП-0,25-11У3	220/12 В	пр. Е-27	3	пред. Е-27
ЯТП-0,25-12У3	220/24 В	пр. Е-27	3	пред. Е-27
ЯТП-0,25-13У3	220/36 В	пр. Е-27	3	пред. Е-27
ЯТП-0,25-21У3	220/12 В	пр. Е-27	3	авт. АЕ1000
ЯТП-0,25-22У3	220/24 В	пр. Е-27	3	авт. АЕ1000
ЯТП-0,25-23У3	220/36 В	пр. Е-27	3	авт. АЕ1000

Таблица 13.2. Осветительные щитки

Тип	Количество од- нофазных групп	Аппараты на вводе	Аппараты на отходящих линиях	Место установки
ОП-3УХЛ4	3	Зажимы	АЕ1000	на стене
ОП-6УХЛ4	6	Зажимы	АЕ1000	на стене
ОП-9УХЛ4	9	Зажимы	АЕ1000	на стене
ОЩ-6УХЛ4	6	Зажимы	А63	на стене
ОЩ-12УХЛ4	12	Зажимы	А63	на стене
ОЩВ-6УХЛ4	6	АЕ2046-10	А3161	на стене
ОЩВ-12УХЛ4	12	АЕ2056-10	А3161	на стене

Таблица 13.3. Лампы накаливания электрические общего назначения

Тип лампы	Расчётное напряжение, В	Световой поток, лм
Б215-225-40; БК215-225-40	220	415; 460
Б220-230-40; БК220-230-40	225	415; 460
Б230-240-40; БК230-240-40	235	410; 450
Б215-225-60; БК215-225-60	220	715; 790
Б220-230-60; БК220-230-60	225	715; 790
Б230-240-60; БК230-240-60	235	705; 775
Б235-245-60	240	700
Б215-225-75; БК215-225-75	220	950; 1025
Б220-230-75	225	950
Б230-240-75	235	935
Б215-225-100; БК215-225-100	220	1350; 1450
Б220-230-100; БК220-230-100	225	1350; 1450
Б230-240-100; БК230-240-100	235	1335; 1430
Б235-245-100	240	1330
Б215-225-150-1; Б215-225-150	220	2100; 2100
Г215-225-150-1; Г215-225-150	220	2090; 2090
Г220-230-150	225	2090
Г230-240-150	235	2065
Г235-245-150	240	2060
Б215-225-200; Г215-225-200	220	2920; 2920
Г220-230-200	225	2920
Г230-240-200	235	2890
Г215-225-300-1; Г215-225-300	220	4610; 4610
Г220-230-300-1; Г220-230-300	225	4610; 4610
Г230-240-300-1; Г230-240-300	235	4560; 4560
Г215-225-500	220	8300
Г220-230-500	225	8300
Г230-240-500	235	8225
Г215-225-750	220	13100
Г220-230-750	225	13100
Г215-225-1000	220	18600
Г220-230-1000	225	18600
Г230-240-1000	235	18450

14. КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

При преобладании в сети электродвигательной нагрузки значительной экономии электроэнергии можно достигнуть компенсацией реактивной мощности. Наиболее эффективной в отношении разгрузки от потребляемой реактивной мощности как питающей сети, так и трансформаторов на подстанции является индивидуальная компенсация, когда батарея конденсаторов подключается непосредственно у электроприемника. Эта схема найдет применение только при выпуске недорогих малогабаритных конденсаторов. В сельскохозяйственном производстве до 75% электродвигателей имеют мощность от 0,6 до 7,5 кВт. Для них требуются конденсаторы от 7...10 до 80...100 мкФ на фазу [3].

В настоящее время широкое применение находит групповая компенсация реактивной мощности, когда батарея конденсаторов подключается к шинам распределительного устройства. Для компенсации выпускают косинусные конденсаторы типа КМ (с пропиткой минеральным маслом) и КС (с пропиткой синтетической жидкостью). Например, маркировка КМ2-0,22-9-3У3 расшифровывается: 2 — габарит; 0,22 — рабочее напряжение; 9 — мощность в кВАр; 3 — трехфазное исполнение; У3 — для умеренного климата, для внутренней установки.

Конденсаторы до 1000 В изготавливаются в одно- и трехфазном исполнениях следующих габаритов (длина × ширина × высота):

- нулевой габарит 380×120×185 мм, масса 18 кг;
- первый габарит 380×120×325 мм, масса 30 кг;
- второй габарит 380×120×640 мм, масса 60 кг.

На напряжение 380 В изготавливают конденсаторы нулевого габарита с номинальной мощностью 12,5 кВАр; первого габарита 14, 18, 20, 25 кВАр; второго габарита 28, 36, 40, 50 кВАр. Конденсаторы изготавливаются со встроенными гасительными резисторами.

Для групповой компенсации реактивной мощности используют конденсаторные установки [6] (табл. 14.1).

Таблица 14.1. Конденсаторные установки

Типоразмер	Ток одной фазы, А	Степень регулирования, кВАр	Число ступеней	Тип регулирования
УК-0,38-75	114	75	1	ручное
УК-0,38-150	228	150	1	ручное
УКЛН-0,38-150-50	228	50	3	ручное
УКЛН-0,38-150-50	456	50	6	ручное
УКЛН-0,38-150-50	684	50	9	ручное
УКЛ(П)-0,38-216	336	108	2	ручное
УКЛ(П)-0,38-300	458	150	2	ручное
УКЛ(П)-0,38-324	488	108	3	ручное
УКЛ(П)-0,38-450	686	150	3	ручное
УКЛ(П)-0,38-432	656	108	4	ручное
УКЛ(П)-0,38-600	916	150	4	ручное
УКБН-0,38-100-50	171	50	2	автомат.
УКБН-0,38-200-50	342	50	4	автомат.
УКБН-0,38-300-50	513	50	6	автомат.
УКЛ(ПН)-0,38-300-150	458	150	2	автомат.
УКЛ(ПН)-0,38-216-108	336	108	2	автомат.
УКЛ(ПН)-0,38-450-150	686	150	3	автомат.
УКЛ(ПН)-0,38-324-108	488	108	3	автомат.
УКЛ(ПН)-0,38-600-150	916	150	4	автомат.
УКЛ(ПН)-0,38-432-108	656	108	4	автомат.

15. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ПРИВОДНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Трехфазные асинхронные двигатели находят самое широкое применение в различных областях техники. Не менее 90% всех электродвигателей, применяемых в народном хозяйстве, являются асинхронными. Такое широкое распространение эти двигатели получили благодаря простоте конструкции и надежности в работе [6, 16] (табл. 15.1-15.6).

При заказе электродвигателей необходимо указать: тип двигателя; номинальную мощность; синхронную частоту вращения; номинальное напряжение; частоту сети; исполнение по способу монтажа; степень защиты.

Например: двигатель АИР160МА2У3; 11 кВт; 3000 об/мин.; 220/380 В; 50 Гц; IM 1001; IP 44.

При необходимости указываются дополнительные требования: исполнение вводного устройства; установка датчика температурной защиты; конструктивное исполнение станины; окраска; упаковка; другие требования.

Таблица 15.1. Структура обозначения
типа двигателя на примере АИР 160 М А 2 У3

Индекс	Расшифровка
160	Высота оси вращения, мм
М	Установочный размер по длине станины: S — короткая; М — средняя; L — длинная
А	Длина сердечника статора А или В при условии сохранения установочного размера
2	Число полюсов
У3	Вид климатического исполнения (У2, У3, Т2): У — умеренный, Т — тропический климат; 2 — для эксплуатации на открытом воздухе при отсутствии прямого воздействия атмосферных осадков, 3 — для эксплуатации в закрытых неотапливаемых помещениях

Таблица 15.2. Соответствие высоты осей вращения электродвигателей,
их номинальной мощности при минимальной длине сердечника
и тока холостого хода

Высота оси вращения, мм	Синхронная частота вращения поля, об/мин.							
	3000		1500		1000		750	
	Р _{ном}	I _{хх}	Р _{ном}	I _{хх}	Р _{ном}	I _{хх}	Р _{ном}	I _{хх}
	кВт	%	кВт	%	кВт	%	кВт	%
63	0,37	50	0,25	80	—	—	—	—
71	0,75	45	0,55	70	0,37	80	—	—
80	1,5	40	1,1	60	0,75	65	—	—
90	3	35	2,2	50	1,5	60	—	—
100	4	35	3	50	—	—	—	—
112	7,5	35	5,5	45	3	55	3	65
132	—	—	7,5	40	5,5	55	4	65
160	15	30	15	35	11	45	7,5	55
180	22	25	22	30	—	—	—	—
200	37	25	37	25	22	35	18,5	45
225	55	20	55	25	37	30	30	45
250	75	20	75	25	45	30	37	40
280	110	—	110	—	90	—	75	—

Таблица 15.3. Технические данные электродвигателей серии АИР

Тип двигателя	P _н кВт	n _н Об/м	I _н А	КПД %	cos φ _н	К	K _п /K _{max}	cos φ _п
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронная частота вращения 3000 об/мин								
АИР71А2	0,75	2820	1,5	78,5	0,83	5,5	2,0/2,2	—
АИР71В2	1,1	2805	2,5	79,0	0,84	5,5	2,0/2,2	—
АИР80А2	1,5	2850	3,3	81	0,85	6,5	2,1/2,6	—
АИР80В2	2,2	2850	4,6	83	0,87	6,5	2,1/2,6	—
АИР90L2	3,0	2865	6,1	84,5	0,88	6,5	2,1/2,5	—
АИР100S2	4,0	2895	7,95	87	0,88	7,5	2,0/2,5	—
АИР100L2	5,5	2890	10,7	88	0,89	7,5	2,0/2,5	—
АИР112M2	7,5	2895	15	87,5	0,88	7,5	2,0/2,2	—
АИР132M2	11	2910	21	88	0,90	7,5	1,6/2,2	—
АИР160S2	15	2910	28,6	89	0,89	7,0	1,4/2,2	0,367
АИР160M2	18,5	2928	35	89	0,90	7,0	1,4/2,2	0,35
АИР180S2	22	2934	42,4	91	0,89	7,5	1,4/2,5	0,36
АИР180M2	30	2934	56,8	90	0,89	7,5	1,4/2,5	0,316
АИР200M2	37	2946	71,6	91	0,86	7,5	1,4/2,5	0,313
АИР200L2	45	2949	84	92	0,89	7,5	1,4/2,5	0,295
АИР225M2	55	2949	98	92,5	0,92	7,5	1,4/2,5	0,301
АИР250S2	75	2955	135	93	0,91	7,5	1,2/2,5	0,255
АИР250M2	90	2950	159	93	0,92	7,5	1,2/2,5	0,256
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
АИР71А4	0,55	1383	1,42	72,0	0,81	4,5	2,0/2,2	—
АИР71В4	0,75	1380	1,89	74,0	0,81	4,5	2,0/2,2	—
АИР80А4	1,1	1390	2,7	75	0,81	5,0	2,0/2,2	—
АИР80В4	1,5	1410	3,5	78	0,85	5,0	2,0/2,2	—
АИР90L4	2,2	1420	6,1	81	0,83	6,0	2,1/2,4	—
АИР100S4	3,0	1410	6,7	82	0,83	6,0	2,0/2,4	—
АИР100L4	4,	1410	8,5	85	0,84	6,0	2,0/2,4	—
АИР112M4	5,5	1430	11	85,5	0,86	7,0	2,0/2,5	—
АИР132S4	7,5	1440	15	87,5	0,86	7,5	2,2/2,8	—
АИР132M4	11	1450	22	87,5	0,87	7,5	2,2/2,8	—
АИР160S4	15	1459	28,3	89	0,90	7,0	1,4/2,3	0,372
АИР160M4	18,5	1461	35,2	90	0,89	7,0	1,4/2,3	0,37
АИР180S4	22	1465	44,4	89,5	0,84	6,5	1,4/2,3	0,374
АИР180M4	30	1470	57,7	91,5	0,86	6,5	1,4/2,3	0,336
АИР200M4	37	1475	68,7	92	0,89	7,0	1,4/2,5	0,362
АИР200L4	45	1474	83	92,5	0,89	7,0	1,4/2,5	0,317
АИР225M4	55	1476	100,7	93	0,89	7,0	1,3/2,5	0,3
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
АИР71А6	0,37	915	1,3	65	0,66	4	2,0/2,2	—
АИР71В6	0,55	915	1,75	68	0,7	4	2,0/2,2	—
АИР80А6	0,75	920	2,3	70	0,72	4	2,0/2,2	—
АИР80В6	1,1	920	3,1	74	0,74	4	2,0/2,2	—
АИР90L6	1,5	925	4,15	76	0,72	4,5	2,0/2,2	—
АИР100L6	2,2	925	5,6	81	0,74	5	2,0/2,2	—
АИР112МА6	3,0	950	7,4	81	0,76	6	2,0/2,2	—
АИР112МВ6	4,0	950	9,1	82	0,81	6	2,0/2,2	—
АИР132S6	5,5	960	12	85	0,8	6	2,0/2,2	—
АИР132М6	7,5	960	16	85,5	0,81	6	2,0/2,2	—
АИР160S6	11	970	22,8	87	0,84	6	1,2/2,0	0,393

Продолжение таблицы 15.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
АИР160М6	15	970	30,3	88	0,85	6	1,2/2,0	0,365
АИР180М6	18,5	979	37,7	87	0,85	6	1,2/2,0	0,377
АИР200М6	22	980	44,6	90	0,83	6,5	1,3/2,4	0,371
АИР200L6	30	977	56,7	89,5	0,9	6,5	1,3/2,4	0,383
АИР225М6	37	981	72,3	91	0,85	6,5	1,2/2,3	0,384
АИР250S6	45	983	86,4	93	0,85	6,5	1,2/2,1	0,296
АИР250М6	55	985	105	93	0,85	6,5	1,2/2,1	0,304
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
АИР71В8	0,25	685	1,04	56	0,66	3	1,6/1,7	—
АИР80А8	0,37	700	1,56	61	0,6	3,5	1,6/1,7	—
АИР80В8	0,55	693	2,22	62	0,61	3,5	1,6/1,7	—
АИР90LА8	0,75	700	2,12	71	0,75	3,5	1,6/1,9	—
АИР90LВ8	1,1	690	3,05	73	0,75	3,5	1,6/1,9	—
АИР100L8	1,5	700	4,15	74	0,76	4	1,6/1,9	—
АИР112МА8	2,2	709	6,1	76,5	0,71	5	1,8/2,2	—
АИР112МВ8	3,0	709	7,8	79	0,74	5	1,8/2,2	—
АИР132S8	5,5	720	10	83	0,7	5,5	1,8/2,2	—
АИР132М8	5,5	710	14	83	0,74	5,5	1,8/2,2	—
АИР160S8	7,5	727	17,5	87	0,75	6	1,4/2,2	0,406
АИР160М8	11	726	25,7	88	0,74	6	1,4/2,2	0,377
АИР180М8	15	732	31,2	89	0,82	5,5	1,2/2,0	0,373
АИР200М8	18,5	733	36,8	90	0,85	5,5	1,2/2,1	0,393
АИР200L8	22	732	46,1	90	0,81	5,5	1,2/2,1	0,363
АИР225М8	30	733	61,2	90,5	0,82	6	1,3/2,1	0,351
АИР250S8	37	739	77,6	92,5	0,78	6	1,2/2,0	0,304
АИР250М8	55	739	92,9	92,5	0,79	6	1,2/2,0	0,300

Электродвигатели, выпускаемые акционерным обществом «Ярославский электромашиностроительный завод» ЯЭМЗ, поставляются как для работы в России, так и за рубежом [17]. Для поставки в Россию привязка по мощностям к установочно-присоединительным размерам осуществляется по ГОСТ с условным обозначением серии *A* — асинхронный (с высотой оси вращения 160 мм выпускается АИР). Для поставки за рубежом привязка мощностей по установочно-присоединительным размерам осуществляется по стандартам CENELEC, DIN с условным обозначением серии *RA* — российский асинхронный. На международном рынке ЯЭМЗ известен как фирма ELDIN.

Номинальные напряжения двигателей: 220, 380, 660, 220/380, 380/660 В.

Частота питающей сети: 50, 60 Гц.

Исполнение по способу монтажа:

- *IM 1001* с горизонтальным расположением вала, крепление лапами снизу;
- *IM 1011* с вертикальным расположением вала, крепление лапами к вертикальной стене, выступающий конец вала внизу;
- *IM 1051* с горизонтальным расположением вала, крепление лапами к вертикальной стене слева;
- *IM 3001*, *IM 3011*, *IM 3031* с горизонтальным и вертикальным расположением вала, крепление фланцами;
- *IM 2001*; *IM 2011*; *IM 2031* с горизонтальным и вертикальным расположением вала, крепление фланцами и лапами к горизонтальной и вертикальной поверхности.

В таблицах обозначено:

P_n — номинальная мощность электродвигателя на валу;

n_n — номинальная частота вращения вала ротора;

I_n — номинальный ток статора;

$\cos \varphi_n$ — номинальный коэффициент мощности;

Ki_n — кратность пускового тока по отношению к I_n ;

K_n — кратность пускового момента;

K_{max} — кратность максимального момента.

Таблица 15.4. Технические данные электродвигателей
серии А ЯЭМЗ с короткозамкнутым ротором IP 44, IP 54

Тип двигателя	P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А при 380 В	КПД, %	$\cos \varphi_n$	Ki_n	K_n/K_{max}	Масса, кг	Момент инерции, кг·м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
A71A2	0,75	2840	2,0	77,0	0,87	5,5	2,0/2,2	9	0,0006
A71B2	1,1	2840	3,0	77,5	0,87	5,5	2,0/2,2	10	0,0008
A80A2	1,5	2865	3,0	80,0	0,88	7,0	2,9/3,5	12	0,0011
A80B2	2,2	2855	5,0	82,5	0,89	7,0	2,9/3,5	14	0,0018
A90L2	3,0	2835	6,0	82,0	0,86	6,5	2,9/3,2	17	0,0024
A100S2	4,0	2880	8,0	86,5	0,89	7,5	2,0/2,2	36	0,007
A100L2	5,5	2880	10,0	87,5	0,91	7,5	2,0/2,2	42	0,008
A112M2	7,5	2895	15	87,0	0,89	7,0	2,5/3,2	49	0,0185
A132M2	11	2865	21	87	0,88	7,0	2,3/3,0	54	0,0227
AIP160S2	15	2940	29,0	90	0,86	7,5	2,0/3,2	115	0,0788
AIP160M2	18,5	2940	29,0	90	0,88	7,5	2,0/3,2	130	0,0976
A180S2	22	2940	42,0	90,5	0,89	7,5	2,1/3,5	150	0,0604
A180M2	30	2940	56,0	92	0,89	7,5	2,2/3,5	170	0,0704
A200M2	37	295	70,0	91,5	0,88	7,5	1,4/2,2	230	0,14
A225M2	55	2900	102	91	0,90	7,5	2,0/2,5	330	0,2
A250S2	75	2970	130	93	0,91	7,0	2,0/2,7	460	0,29
A250M2	90	2970	160	93	0,91	7,0	2,0/2,7	530	0,29
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
A71A4	0,55	1420	2,0	77,0	0,80	5,5	2,5/2,6	9	0,001
A71B4	0,75	1420	2,0	78,0	0,80	5,5	2,3/2,8	10	0,0015
A80A4	1,1	1395	3,0	75,0	0,81	5,5	2,0/2,2	12	0,0028
A80B4	1,5	1395	4,0	78,0	0,83	5,5	2,0/2,2	14	0,0034
A90L4	2,2	1390	5,0	78,0	0,82	5,0	2,2/2,6	19	0,0056
A100S4	3,0	1440	7,0	82,0	0,83	6,5	1,6/2,0	36	0,01
A100L4	4,0	1440	9,0	84,0	0,84	6,0	1,6/2,0	42	0,013
A112M4	5,5	1460	11,0	87,0	0,85	7,0	2,4/3,0	49	0,0236
A132S4	7,5	1455	15	88,0	0,83	7,0	2,8/3,2	55	0,0227
A132M4	11	1430	22	87,0	0,88	7,0	2,4/2,7	60	0,0349
AIP160S4	15	1460	29,0	90,0	0,87	7,0	1,9/2,9	125	0,0963
AIP160M4	18,5	1460	35,0	90,5	0,89	7,0	1,9/2,9	142	0,12
A180S4	22	1465	42,0	91,0	0,88	7,0	1,7/2,1	160	0,13

Продолжение таблицы 15.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A180M4	30	1460	57,0	91,0	0,89	7,0	1,6/2,4	190	0,135
A200M4	37	1470	71,0	92,0	0,87	7,5	1,7/2,2	230	0,15
A200L4	45	1460	86,0	92,0	0,87	7,0	1,7/2,2	260	0,18
A225M4	55	1470	104	92,5	0,87	7,5	2,2/2,6	325	0,2
A250S4	75	1470	130	93	0,91	7,0	2,0/2,7	460	0,29
A250M4	90	1470	160	93	0,91	7,0	2,0/2,7	500	0,29
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
A71A6	0,37	920	1,0	64,5	0,69	4,0	2,0/2,2	9	0,0015
A71B6	0,55	920	2,0	67,5	0,71	4,0	2,0/2,2	10	0,002
A80A6	0,75	935	2,0	71,0	0,70	4,0	2,0/2,5	14	0,0035
A80B6	1,1	925	3,0	72,0	0,72	4,0	1,9/2,4	16	0,0048
A90L6	1,5	920	3,0	75,0	0,73	6,0	2,0/2,2	18	0,0066
A100L6	2,2	950	6,0	81,0	0,73	5,5	2,0/2,2	42	0,02
A112MA6	3,0	955	7,0	83,0	0,76	5,0	1,9/2,6	50	0,038
A112MB6	4,0	950	9	84,0	0,76	6,0	1,9/2,6	55	0,0425
A132S6	5,5	940	13	83,0	0,76	5,0	1,8/2,4	51	0,05
A132M6	7,5	940	17	83,7	0,79	5,0	2,0/2,4	61	0,0597
АИР160S6	11	975	23,0	88,5	0,82	6,5	2,2/2,9	125	0,142
АИР160M6	15	975	31	89,0	0,82	7,0	2,3/3,0	155	0,25
A180M6	18,5	970	37,0	89	0,86	6,0	2,0/2,2	160	0,3
A200M6	22	970	45,0	87,0	0,84	6,0	2,0/2,5	195	0,36
A200L6	30	970	59,0	89,5	0,86	6,5	2,0/2,7	225	0,51
Синхронная частота вращения 750 об/мин									
A112MA8	2,2	710	6,0	79,5	0,72	4,5	1,8/2,3	44	0,0221
A112MB8	3,0	710	8,0	80,5	0,73	4,5	1,8/2,4	49	0,0288
A132S8	4,0	720	10,0	83,0	0,70	6,0	1,8/2,2	68	0,069
A132M8	5,5	715	14,0	84,0	0,74	6,0	1,8/2,2	82	0,0935
АИР160S8	7,5	730	18,0	86,0	0,73	5,5	1,8/2,4	125	0,1265
АИР160M8	11,0	730	26,0	87,0	0,75	6,5	1,8/2,4	150	0,25
A180M8	15,5	730	35,0	86,5	0,76	5,5	1,8/2,0	172	0,26
A200M8	18,5	730	40,0	88,0	0,80	5,8	2,1/2,5	210	0,2807
A200L8	22	730	50,0	88,5	0,77	6,0	2,0/2,5	225	0,307

Таблица 15.5. Технические характеристики однофазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором ($U=220\text{ В}$) IP 44, IP 54

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{ об/мин}$	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$ при 220 В	КПД, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$K_{\text{п/пуск}}$	$K_{\text{п/К}_{\text{мах}}}$	Масса, кг	Ёмкость конденсатора, мкФ
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
RAE71D2	0,12	2850	1,2	50,0	0,91	4,0	0,6/2,15	4,0	6
RAE71G2	0,18	2775	1,6	54,0	0,95	4,0	0,4/1,4	4,4	6
RAE71H2	0,25	2895	2,2	58,0	0,9	4,0	0,52/2,4	5,2	10
RAE71A2	0,37	2865	2,7	65,0	0,96	4,0	0,36/1,7	6,7	10
RAE71B2	0,55	2890	4,6	65,0	0,83	4,0	0,32/2,3	8,5	12
RAE71K2	0,75	2895	5,0	72,0	0,9	4,5	0,36/2,3	9,5	18
RAE71N2	1,1	2825	7,0	74,0	0,97	4,0	0,3/1,8	11	20
RAE80G2	0,37	2865	2,7	65,0	0,96	4,0	0,36/1,7	7,0	10
RAE80H2	0,55	2890	4,6	65,0	0,83	4,0	0,32/2,3	9,0	12
RAE80A2	0,75	2895	5,0	72,0	0,9	4,5	0,36/2,3	10	18
RAE80B2	1,1	2825	7,0	74,0	0,97	4,0	0,3/1,8	11,3	20
RAE80K2	1,5	2865	10,0	72,0	0,94	4,5	0,26/1,9	12,4	25
RAE90S2	1,5	2850	10,0	75,0	0,97	4,0	0,4/2,0	15	30
RAE90L2	2,2	2820	14,0	76,0	0,99	3,8	0,4/1,8	17	40
RAE90S4	1,1	1395	7,0	71,0	0,99	2,9	0,4/1,6	14	30
RAE90L4	1,5	1410	8,0	73,0	0,95	3,2	0,4/1,7	16	40
Для холодильников									
ДХМ-5	0,09	1440	1,3	62,0	0,53	6,6	2,15/2,5	4,85	—

Таблица 15.6. Технические характеристики трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором серии 4АК, IP 44

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{ об/мин}$	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$ при 380 В	КПД, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$U_{\text{ротора}}, \text{ В}$	$I_{\text{ротора}}, \text{ А}$	$K_{\text{мах}}$	Масса
4АК160S4	11	1425	23	86,5	0,86	305	22	3,5	170
4АК160M4	14	1440	28	88,5	0,87	300	29	3,8	185
4АК160S6	7,5	950	18	82,5	0,77	300	18	3,5	170
4АК160M6	10	935	24	84,5	0,76	310	20	3,8	200
4АК160S8	5,5	700	15	80,0	0,70	300	14	3,0	170
4АК160M8	7,1	705	19	82,0	0,70	290	16	3,0	200

Механические характеристики механизмов определяются опытным путем или получают с завода-изготовителя. Для большой группы механизмов зависимость момента сопротивления от скорости вращения может быть выражена формулой:

$$M_{\text{мех.}} = M_{\text{пуск.мех.}} + \left(M_{\text{мех.ном.}} - M_{\text{пуск.мех.}} \right) \left(\frac{n}{n_{\text{ном.}}} \right)^p,$$

где $M_{\text{мех.}}$ — момент механизма при частоте вращения n ;

$M_{\text{мех.ном.}}$ — момент механизма при частоте вращения $n_{\text{ном.}}$;

$M_{\text{пуск.мех.}}$ — пусковой момент механизма;

p — показатель степени, зависящий от типа механизма и условий его работы.

При рассмотрении режимов пуска и самозапуска двигателей для непосредственного сравнения моментов двигателей и соединенных с ними механизмов (табл. 15.7, 15.8) [18, 19] удобнее моменты механизма определять в долях от номинального момента двигателя.

Если коэффициент загрузки K_3 отличается от единицы, то:

$$M_{\text{мех.}} = M_{\text{пуск.мех.}} + \left(K_3 M_{\text{мех.ном.}} - M_{\text{пуск.мех.}} \right) \left(\frac{n}{n_{\text{ном.}}} \right)^p.$$

Эту же формулу можно выразить через скольжение в относительных единицах:

$$M_{\text{мех.}} = M_{\text{пуск.мех.}} + \left(K_3 - M_{\text{пуск.мех.}} \right) \left(\frac{1-s}{1-s_{\text{ном.}}} \right)^p,$$

где K_3 — коэффициент загрузки; s — скольжение.

Для значения показателя степени $p=0$ момент сопротивления механизма не зависит от скольжения и сохраняет постоянную величину для любой скорости вращения. Практически постоянный момент сопротивления имеют шаровые мельницы, транспортеры, шнеки. Значение $p=2$ имеют механизмы с вентиляторным моментом сопротивления. Пусковой момент механизмов с вентиляторным моментом сопротивления обычно не превосходит 0,1...0,3 номинального.

Таблица 15.7. Механизмы сельскохозяйственного производства с мощными электроприводами

Механизм	Мощность электродвигателя, кВт	$n_{\text{син.}}$, об/мин
Транспортер пневматический эжекторный	22	1500
Соломосилосорезка	22	1500
Измельчитель-смеситель корма ИСК-3	37	1500
Кормоизмельчитель «Волгарь-5А»	22	1500
Кормодробилка молотковая КДУ-2,0	30	1500
Дробилка молотковая реверсивная А1-ДДП	40	3000
Смеситель кормовых смесей С-12	13	1500
Агрегат для приготовления хлопьев из зерна	17	1500
Агрегат витаминной травяной муки АВМ-0,65:		
Дробилки	2440	3000
Вентилятор циклона охлаждения	5,5	3000
Вентилятор системы отвода сухой массы	17	1500
Вентилятор циклона муки	5,5	3000
Топливный насос	0,6	1500
Вентилятор теплогенератора	10	3000
Барабан	4	1000
Насос гидросистемы	5,5	1500
Воздухонагреватель ВПТ-600А:		
Вентилятор	22	1500
Топливный насос	0,75	1000
Комбикормовый цех ОЦК-30:		
Дробилки	2430	1500
Смеситель, решетный стан, наклонный шнек, шнек дробилки, дозирующий шнек, нория	11	1500
Установка для транспортирования навоза в навозохранилище до 150 м УТН-10	13	1500
Установка насосная для перемешивания жижи в навозохранилище и ее погрузки УН-1:		
Фекальный насос	17	1500
Мешалка и лебедка	23	1000
Насос в системе канализации	22	3000
Погружной электродвигатель ПЭДВ	4...8,0	3000
Насос второго подъема воды	15...45	3000
Пилорама	30...40	3000

Таблица 15.8. Кратности моментов сопротивления механизмов

Наименование механизма	Пуск без нагрузки	Пуск с нагрузкой
Насосы центробежные	0,3	0,3
Насосы поршневые	0,4	1,5
Лесопильные рамы	1,0	—
Станки с круглой пилой	0,3	—
Вентиляторы центробежные	0,3	0,3
Вентиляторы осевые	0,3	—
Дробилки молотковые	1,5	—
Дробилки щековые	1,0	—
Дробилки валковые	1,0	—
Турбокомпрессоры	0,3	0,3
Насосы вакуумные	—	0,6
Генераторы постоянного тока	0,12	—

16. ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ

Электрокалориферные установки предназначены для подачи горячего воздуха в помещения до 10 тыс. м³. Бытовые калориферы, масляные радиаторы и тепловые пушки применяются для обогрева квартир, коттеджей, гаражей, зимних садов. Промышленные калориферы, тепловые пушки и калориферные установки (табл. 16.1) мощностью до 100 кВт применяются в системах приточной и вытяжной вентиляции в цехах, ангарах, складах, торговых павильонах. Широкую популярность завоевали у строителей-отделочников тепловые пушки СФО-20 и СФО-10. Калориферные установки незаменимы для устройства сушильных и пропарочных камер со взрывобезопасной средой.

Все калориферные установки имеют надежную систему защиты от перегрева, ступенчатую или плавную регулировку мощности, по желанию заказчика комплектуется воздушными терморегуляторами. Большой спрос на тепловые завесы отечественного производства, которые одинаково эффективны как в офисном, так и в складском помещении (табл. 16.2).

Таблица 16.1. Электрокалориферы, тепловые пушки

Тип, марка	Масса, кг	Габариты, мм	Напряж. сети, В	Ном. мощ-ть, кВт	Макс. t °С воздуха на выходе	Производит. гор. воздуха, м ³ /час	Цена на 01.02.2005, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8
СФО-2	5	634×245×180	220	1; 2	110	180	1 820
ЛАДОМИР	2,3	214×174×172	220	1; 2	100	84	2400
ЭТВ-3	8	240×450×450	220	1,5; 3	80	400	4200
БАРХАН-1	7,5	282×410×380	220	1; 2; 3	40	360	4900
ТПЦ-3	6	267×305×371	220	1,3	70	430	4980
ТВ-5	1	150×142×260	220	2,5; 5	100	300	4950
ВЭ-1	17	409×605×550	220	1,5; 3; 6	75	600	5200
ТВП-6	10	420×480×580	220/380	2; 4; 6	110	900	5800
МТВ-8	17	380×540×380	380	3,75; 7,5	40	720	6850
ЭТВ-9	18	350×700×700	380	4,5; 9	100	900	6400
ПЛ-9 тепл. пушка с термостатом	14	540×680×480	380	9	60	750	6400
СФО-10 тепловая пушка	25	354×800×600	380	10	120	1000	7680
ВЭ-1/380	15	550×260×470	380	10	90	1000	6400

Продолжение таблицы 16.1

1	2	3	4	5	6	7	8
ЭТВ-18 тепловая пушка	23	350×700×850	380	9; 18	120	1200	9590
СФО-20 тепловая пушка	60	354×1120×770	380	5; 10; 15; 20	120	1500	12780
СФО-33	90	860×825×715	380	16; 33	75	3000	16790
СФО-66	135	1070×825×715	380	66	140	3200- 4000	19980
СФО-66	180	1280×900×715	80	99	140	3000- 4800	25850

Таблица 16.2. Тепловые завесы

Тип, марка	Масса, кг	Габариты, мм	Напряж. сети, В	Ном. мощ-ть, кВт	Макс. тем-ра возду- ха на выхо- де, °С	Производит. гор. возду- ха, м³/час	Цена на 01.02.2005, руб.
ВТЗ-01	15	1100×235×126	220	1,6; 3,5	60	600	5000
ТВ-3	10	795×195×115	220	1,5; 3,0	60	450	5400
ВТЗ-5	7,7	810×170×200	220	3; 4; 5	60	460	9870
ТВ-6	10,5	1000×170×200	380	3; 6	70	590	10970
ТВ-9	14,3	1320×170×200	380	4,5; 9	80	890	12600

17. РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

17.1. Дизельные электроагрегаты и электростанции

Промышленность выпускает стационарные и передвижные дизель-электрические станции (ДЭС). Основным элементом в них является дизель-генератор, собранный на общей сварной раме. Первичный двигатель-дизель и генератор соединены между собой жесткой муфтой. ДЭС включает в себя:

- системы охлаждения дизеля с насосами, баками и трубопроводами;
- системы питания топливом дизеля с топливными баками, масляными радиаторами, насосами и маслопроводами;
- системы запуска дизеля с электрическим стартером, аккумуляторной батареей, зарядным генератором или воздушным с баллонами компрессоров, пусковыми клапанами и трубопроводами;
- системы подогрева дизеля с подогревателями, лампами и змеевиками для подогрева, отопительно-вентиляционными установками — щиты управления, защиты и сигнализации с комплектом соединительных кабелей;
- аккумуляторную батарею с выпрямителями для ее подзарядки, которая служит для запуска дизеля и питания постоянным током схем управления, сигнализации, цепей возбуждения.

При наличии резервных источников потребители подключаются через перекидной рубильник.

По уровню автоматизации дизельные электростанции бывают нулевой, первой, второй и третьей степени [3] (табл. 17.1).

Степени автоматизации обеспечивают:

- нулевая степень (0) — ручное управление ДЭС, индикацию значений контролируемых параметров, автоматическую стабилизацию параметров электроэнергии и температуры охлаждающей жидкости, автоматический подзаряд стартерных аккумуляторных батарей, защиту генератора от перегрузки по току и короткого замыкания;
- первая степень (1) — выполнение операций «0» степени, а также защиту дизеля от перегрева охлаждающей жидкости, падения давления масла, резкого возрастания частоты вращения вала дизеля (разнос);
- вторая степень (2) — выполнение операций первой степени, а также автоматическую подготовку к пуску, пуск, прием нагрузки, останов и контроль за работой ДЭС;
- третья степень (3) — выполнение операций второй степени, а также автоматическое пополнение расходных баков топлива и, при необходимости, охлаждающей жидкости.

Автоматизированные дизель-электрические установки (ДЭУ) мощностью 8...200 кВт первой, второй и третьей степеней автоматизации производит ОАО «Алтайские средства энергетики». ДЭУ предназначены для основного, резервного и аварийного электроснабжения (табл. 17.2). Они комплектуются синхронными генераторами трехфазного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 400 В.

Таблица 17.1. Функции систем автоматизации

Функция систем автоматики	Степень автоматизации			
	0	1	2	3
1	2	3	4	5
Ручное управление пуском и остановом с пульта, расположенного на ДЭС	+	+	+	+
Автоматическая стабилизация выходных параметров вырабатываемой электрической энергии	+	+	+	+
Индикация значений контролируемых параметров на пульте управления, расположенном на ДЭС и щите управления КУ Информация о значениях контролируемых параметров на базе стрелочных приборов или светодиодов	+	+	+	+
Сигнализация включения и отключения потребителей — наличия напряжения на шинах	+	+	+	+
Устойчивая работа под нагрузкой с мгновенными сбросами и набросами нагрузки от 100 до 0% и 0 до 100%	+	+	+	+
Автоматическое регулирование температуры охлаждающей жидкости (термостат)	+	+	+	+
Автоматическая подзарядка аккумуляторных батарей зарядным генератором дизеля	+	+	+	+
Аварийная сигнализация и защита по аварийным параметрам	+	+	+	+
Автоматизированное управление ДЭС с панели щита управления	—	—	+	+
Автоматическое управление пуском и остановом по внешним сигналам (телесигналам и т.д.) или по исчезновению напряжения (восстановлению) резервируемой сети	—	—	+	+

Продолжение таблицы 17.1

1	2	3	4	5
Автоматическое поддержание заданной частоты вращения (частоты тока) в пределах регуляторной характеристики	+	+	+	+
Устойчивая параллельная работа с другим дизель-электрическими агрегатами, имеющими устройство параллельной работы, при этом характеристики первичных двигателей агрегатов должны быть идентичными	—	—	+	+
Устойчивая работа параллельно с электрической сетью централизованного электроснабжения	—	—	+	+
Автоматическое пополнение расходных емкостей топливом и маслом	—	—	—	+
Параметры аварийной сигнализации защиты				
Превышение допустимых температур:				
охлаждающей жидкости	—	+	+	+
масла	—	—	+	+
Падение давления масла ниже допустимого	—	+	+	+
Превышение допустимой частоты вращения (разнос)	—	+	+	+
Перегрузка по току	+	+	+	+
Короткое замыкание	+	+	+	+
Незавершенный останов, неудавшийся пуск	—	—	+	+

Таблица 17.2. Автоматизированные дизель-электрические установки (ДЭУ)

Показатели	ДЭУ-16	ДЭУ-30	ДЭУ-50	ДЭУ-75	ДЭУ-100	ДЭУ-200Д
Степень автоматизации	1, 2, 3	0, 1, 2, 3				
Номинальная мощность, кВт	16	30	50	75	100	200
Модель дизеля	BA3-3413	Д65А-П	A41E	A01ME	1Д6КС	Д12ДС
Число цилиндров	4		6			12
Диаметр цилиндра, мм	76,8	110	130		510	
Объем цилиндров, л	1,45	4,94	7,43	11,14	19,1	38,8
Степень сжатия	23	17,3	6	16	14...16	
Частота вращения вала дизеля, мин ⁻¹	3000				1500	
Расход топлива, кг/ч	5,8	8,7	13,7	20,5	27,8	55
Модель генератора	БГ-16/2	БГ-30	БГ-60, ГСБ-60	БГ-100, ГСБ-100		БГ-200, ГСБ-200
Ток при cosφ=0,8А	29	54	90	135	180	361
Тип аккумуляторных батарей	6СТ132					
Число батарей	2/4				4/6	

17.2. Передвижные электростанции и электроагрегаты

По мощности передвижные электростанции можно разделить на три основные группы: малой мощности — до 10 кВт, средней — 10...100 и большой — более 100 кВт.

Передвижные электростанции (ПЭС) предназначены для работы на открытом воздухе при температуре $-50...+40^{\circ}\text{C}$. Они должны иметь защиту от атмосферных воздействий и обеспечивать работу в условиях вибрации и тряски. ПЭС различают по способу транспортировки: переносные, перевозные и прицепные [3].

Российскими и зарубежными предприятиями выпускается большая номенклатура переносных и перевозных электростанций и электроагрегатов малой мощности с бензиновыми карбюраторными и дизельными двигателями внутреннего сгорания.

Передвижные электростанции размещают на одно- или двухосном тракторном или автомобильном прицепе, в кузове автомобиля или закрытом вагоне. В состав передвижной электростанции, кроме электроагрегата, входят также инвентарные гибкие кабели, служащие для присоединения потребителей к ПЭС, комплект запасных частей, инструмента и принадлежностей, средства пожаротушения.

Передвижные станции следует использовать в первую очередь для сокращения продолжительности перерывов в электроснабжении при ремонтах, реконструкции или плановых отключениях электрических сетей. При нарушениях работы магистральных участков электрических линий передвижную электростанцию средней и большой мощности целесообразно подключать через передвижную подстанцию к неповрежденному участку линии 10 кВ или непосредственно к шинам 0,4 кВ трансформаторной подстанции. Если работа этой линии нарушена, то электростанцию подключают к распределительным щитам потребителя.

Электрической схемой электростанций обеспечивается автоматическое включение в работу при перерывах в подаче электроэнергии от основного источника и остановка работающих агрегатов при появлении напряжения в сети.

Передвижные дизельные электростанции трехфазного переменного тока типа АД производства АО «Электроагрегат» используют в качестве основного или резервного источника электроснабжения. Легко транспортируются и не требуют специальных фундаментов (табл. 17.3).

Генераторы электростанций оборудованы системой автоматического регулирования напряжения в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения при изменении нагрузки от 25 до 100% номинальной мощности.

Продолжительность непрерывной работы без дозаправки топливом 4 ч.

Таблица 17.3. Электроагрегаты переменного тока малой мощности

Тип агрегата	Ном. мощность, кВт	Ном. напряжение, В	Расход топлива, л/ч	Изготовитель
1	2	3	4	5
Бензиновые				
АБ 1-230-В	1	230	1	Свободинский электромеханиче- ский завод
АБ-0,5-0/230	0,5	230	0,83	—
АБ 0,5	0,5	230/24	—	МНПО «Энерго- спецтехника»
АБ-1	1	230	—	—
АБ-4	4	230/400	—	—
АБ-2-0/230-М1 (АБ-2-Т/230-М1)	2,5	230	1	Московский элек- тромех. завод им. Владимира Ильича

Продолжение таблицы 17.3.

1	2	3	4	5
АБ-4-0/230-М1 (АБ-4-Т/230-М1)	5	230	1,8	—
Дизельные				
АД2-220-В	2	220	1,1	Свободинский электромехани- ческий завод
АД4-220-В	4	230/400	1,4	
АД4-Т400-ВМ2	5	230/400	1,57 кг/ч	
АД6-Т400-В	6	230/400	2,25 кг/ч	
АД8С-Т400-1Р	8	230/400	325 г/кВт/ч	АО «Электроаг- регат»

18. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

18.1. Использование энергии ветра

Для рационального выбора типа и мощности ветроэнергетических установок необходимо знать ветроэнергоресурсы места применения (среднегодовую и сезонные скорости ветра, м/с), поскольку выработка энергии ветроэнергетической установкой пропорциональна кубу скорости ветра.

Лучшие места для размещения ВЭУ — это вершины холмов, не имеющие крутых склонов. Однако в ряде случаев ветроустановки выгодно размещать в долинах рек, каньонах, на перевалах, где сужение путей воздушных масс приводит к резкому местному повышению ветроэнергетического потенциала.

Современная ветроэнергетика развивается одновременно в двух направлениях: энергоснабжение автономных потребителей (автономная ветроэнергетика) и выработка электроэнергии в энергосистему (системная ветроэнергетика).

Автономная ветроэнергетика базируется преимущественно на применении ВЭУ мощностью 0,1...30 кВт. Системная ветроэнергетика в основном использует крупные ВЭУ единичной мощностью 0,1...1 МВт. ВЭУ объединяются в ветроэнергетические станции ВЭС, которые должны строиться в районах с высокими и постоянными скоростями ветра. Они работают на энергосистему и обеспечивают экономию органического топлива. Сельское хозяйство является областью преимущественного использования автономной ветроэнергетики (табл. 18.1, 18.2).

С учетом имеющихся ветроэнергетических ресурсов и направленности сельскохозяйственного производства ВЭУ применяются:

- для пастбищного водоснабжения и электроснабжения в крестьянских хозяйствах, на дачных и садовых участках (мощность установок 0,05...1 кВт);
- электротеплоснабжения автономных потребителей — чабанские и рыболовные бригады, полевые станы, фермерские хозяйства, садово-огородные кооперативы (мощность установок до 30 кВт);
- совместного (параллельного) снабжения с централизованным электроснабжением или дизельными электростанциями крупных потребителей — животноводческие фермы, кормоцехи, пункты первичной обработки продукции (мощность установок до 100 кВт).

Установки малой мощности (в том числе переносные) используются на пастбищах для автономного водоснабжения и питания бытовых электроприборов, насосов, электрической изгороди, освещения и т.д. Эти же установки находят применение в крестьянских хозяйствах и у садоводов [3].

*Таблица 18.1. Техническая характеристика автономных
ветроэлектрических установок*

Ветроэлектроустановка	Завод-изготовитель	Электрическая мощность генератора, Вт	Напряжение, В (род тока)
УВЭ-40	ЦНИИ Электро- прибор, г. Санкт-Петербург	40...100	12 (постоянный)
УВЭ-300/24-2,2	То же	550	24/12 (постоянный), 220 (переменный)
УВЭ-1000/200-3,3	То же	1000	То же
ВЭТЭН-0,16	«Рыбинский завод приборостроения», г. Рыбинск	160	12 (постоянный), 220 (переменный)
М-250	«ТОО Молинос», Москва	250	То же
АВЭ-0,14	«АО Торнадо», г. Истра Московской обл.	140	12 (постоянный)
АВЭ-0,25	То же	250	12, 24, 42 (постоянный)

*Таблица 18.2. Ветроэлектростанции для совместной работы с
дизель-генераторами и на сеть централизованного энергоснабжения*

Предприятие-изготовитель	Номинальная мощность, кВт (при расчетной скорости, м/с)
МК5 «Радуга», г. Дубна ; АО ТМЗ, Москва	1000 (13,6), работа в сети 8 (7,2) 1,5 (5,6)
НПО «Ветроэн», г. Реутов Московской обл.; НПО «Южное», г. Днепропетровск, Украина	250 (13), работа в сети
Совместное производство HSW (Герма- ния) и ассоциации СОВЭНА, Москва	30 (11), работа в сети
Завод «Ветроэнергомаш», г. Астрахань; НПО «Ветроэн», г. Реутов Московской обл.	4 (9), автономная
АО «Энкорис», г. Пермь ; АО «Аэромеха- ника» ПО «Арсенал»	3 (7,5), автономная 2(8)
АО «Энергия», г. Санкт-Петербург	4 (9)
Российско-голландское СП «ЛМВ ветроэнергетика», г. Хабаровск	1,1 (7), 2,5 (12), 3,6 (12), 10 (12), автономные
Тульский комбайновый завод	1 (5), автономная
АО «Долина», г. Кувандык Оренбургской обл.	2 (4), автономная
НПК «Ветроток», Завод «Холодмаш», Завод им. Калинина	5 (8), 16 (12), ветродизель ДЭС 8 кВт
Уфимский авиационный университет, КБ, им. Макеева, г. Миасс	100 (10), ветродизель, РЭС 2×60 кВт

18.2. Малые и микроГЭС

Одно из наиболее экономичных направлений развития возобновляемой энергетики в России — сооружение на небольших водотоках малых (МГЭС) и микроГЭС (табл. 18.3-18.7). Технический потенциал малой гидроэнергетики составляет более 360 млрд кВт·ч в год, а его использование не превышает 1% [3].

При сооружении и эксплуатации максимально сохраняются окружающая природа, рыбохозяйственная значимость водоемов, отсутствуют вредные воздействия строительства на свойства и качество воды.

Возможные источники гидроэнергии, используемые для микро- и МГЭС — малые реки, ручьи, озерные водосбросы, оросительные, питьевые, технологические водотоки или продуктопроводы предприятий, водосбросы ТЭЦ, промышленные и канализационные стоки.

На основании анализа современных требований к энергетическому оборудованию малых ГЭС при его создании АОЗТ «МНТО ИНСЭТ» (г. Санкт-Петербург) разработаны и выпускаются гидроагрегаты восьми типоразмеров, в том числе мощностью:

- до 90 кВт с пропеллерным рабочим колесом на напор 1,5...10 м, до 500 и 1500 кВт на напор 3,5...9 и 10...25 м;
- до 100 кВт с диагональным рабочим колесом на напор 10...55 м;
- до 5000 кВт с радиально-осевым рабочим колесом на напор свыше 25 м;
- 3000 кВт с ковшовым рабочим колесом на напор до 450 м.

Устройство автоматического управления микроГЭС обеспечивает автономную работу (без подключения к энергосистеме) при сохранении параметров вырабатываемой электрической энергии в случае сброса (набора) нагрузки. Система автоматического управления (САУ) работой гидроагрегатов осуществляет прием от центрального пульта станции (ЦПУ) сигналов, характеризующих состояние вспомогательного оборудования; пуск гидроагрегатов, нормальный и аварийный остановки по сигналу САУ или ЦПУ; автоматический контроль состояния систем возбуждения и защиты генераторов; включение их в сеть методом точной синхронизации; формирование для ЦПУ сигналов, характеризующих состояние оборудования и готовность гидроагрегатов к переходу на другой режим эксплуатации.

Проточные части турбин разработаны методом математического моделирования для широкого диапазона напоров и расходов, имеют высокие энергетические характеристики.

Сравнительные расчеты показали, что стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой микроГЭС, в 5,5 раз меньше, чем дизельной станцией такой же мощности (без учета стоимости самой станции и работы обслуживающего персонала).

Таблица 18.3. Техническая характеристика микроГЭС с пропеллерными турбинами

Показатели	7,5ПР	10ПР	22ПР	45ПР	50ПР	90ПР
Мощность, кВт	До 7,6	До 10	До 22	До 45	До 50	До 90
Напор, м	1,5...4,5	3,5...10	1,5...4,5	2,2...6,4	3,7...10	3,5...10
Расход, м ³ /ч	0,09...0,21	0,11...0,21	0,35...0,81	0,4...10	0,3...0,9	0,53...1,22
Частота вращения турбины, мин ⁻¹	1000	1500	500	600	750	750
Номинальное напряжение, В	220±22	220±22	220±22	220±22	220±22	220±22
Номинальная частота тока, Гц	50±2	50±2	50±2	50±2	50±2	50±2

Таблица 18.4. Техническая характеристика микроГЭС с диагональными турбинами

Показатели	Мощность ГЭС, кВт		
	25	50	100
Мощность, кВт	До 25	До 50	До 100
Напор, м	10...20	10...25	20...55
Расход, м ³ /ч	0,06...0,14	0,05...0,26	0,14...0,28
Частота вращения турбины, мин ⁻¹	1500	1500	3000
Номинальное напряжение, В	220±22, 380±38	220±22, 380±38	220±22, 380±38
Номинальная частота тока, Гц	50±2	50±2	50±2

Таблица 18.5. Техническая характеристика малых ГЭС с пропеллерными турбинами

Показатели	ГА-1	ГА-8
Мощность, кВт	100...500	150...1500
Напор, м	3,5...9	10...25
Расход, м ³ /ч	2...8	2,5...7,0
Частота вращения, мин ⁻¹ :		
турбины	200...500	500
ротора генератора	500	500
Номинальное напряжение, В	400; 6000	400; 6000;10000
Номинальная частота тока, Гц	50±2,5	

Таблица 18.6. Техническая характеристика малых ГЭС с радиально-осевыми турбинами

Показатели	ГА-2	ГА-4	ГА-9	ГА-11	ГА-12
Мощность, кВт	1000	750	500... 3000	550...5300	2200...9800
Напор, м	30...100	25...60	80...120	100...160	80...120
Расход, м ³ /ч	0,4...1,2	0,4...1,4	1,0...3,0	0,8...4,0	3,5...9,9
Частота вращения турбины, мин ⁻¹	1000; 15000	1000	1000	1000	500
Номинальное напряжение, В	400; 6000	400; 6000	6000	6000	6000
Номинальная частота тока, Гц	50±2,5	50±2,5	50±2,5	50±2,5	50±2,5

Таблица 18.7. Техническая характеристика малых ГЭС с ковшовыми турбинами

Показатели	ГА-5	ГА-10
Мощность, кВт	145...620	290...3000
Напор, м	150...250	200...450
Расход, м ³ /ч	0,13...0,33	0,19...0,9
Частота вращения турбины, мин ⁻¹	500...600	750...1000
Номинальное напряжение, В	400; 600	400; 600; 1000
Номинальная частота тока, Гц	50±2,5	

18.3. Энергетическое использование биомассы

Биомасса — энергоисточник, объединяющий все органические вещества растительного и животного происхождения. Биомасса делится на первичную (растения, животные, микроорганизмы и т.д.) и вторичную (отходы при переработке первичной биомассы — солома, ботва, опилки, щепа, спиртовая барда и т.д.), а также продукты физиологического обмена животных и человека [3].

Ежегодное количество органических отходов по разным отраслям народного хозяйства России составляет более 390 млн т. Сельскохозяйственное производство дает 250 млн т, из них 150 млн т приходится на животноводство и птицеводство, 100 млн т — на растениеводство. Лесо- и деревопереработка дают 700 млн т, твердые бытовые отходы городов — 60 млн т, коммунальные стоки — 10 млн т (все приведенные значения даются на абсолютно сухое вещество).

Энергия, запасенная в первичной и вторичной биомассе, может конвертироваться в технически удобные виды топлива или энергии несколькими путями: получение растительных углеводов (растительные масла, высокомолекулярные жирные кислоты и их эфиры, предельные и непредельные углеводороды и т.д.), например, для южных регионов России это может быть: рапсовое масло, добавляемое к дизельному топливу; термохимическая конверсия биомассы (твердой до 60%) в топливо — прямое сжигание; пиролиз; газификация; сжижение; флест-пиролиз.

Биотехнологическая конверсия биомассы (при влажности от 75% и выше) в топливо — низкоатомные спирты, жирные кислоты, биогаз.

Термохимическая конверсия биомассы. Разработка и создание оборудования для газификации твердой биомассы с целью создания автономных тепло- и электростанций, работающих на генераторном газе, осуществляются ведущей организацией по этому направлению АО «Энерготехнология» (г. Санкт-Петербург), где отрабатываются технологии и осваивается производство термических газогенераторов для переработки биомассы в газообразное топливо, используются различные виды растительной биомассы: отходы деревообработки и лесосечные, твердые бытовые, рисовая лузга, лигнин, торф и т.д.

Газификация — сжигание биомассы при 800...1500°C в присутствии воздуха или кислорода и воды с получением синтезгаза или генераторного газа с теплотой сгорания от 10500 до 14600...16700 кДж/м³ (при нормальных условиях), состоящего из смеси угарного газа (монооксид углерода) и водорода, возможны примеси метана и других углеводородов.

Газогенераторы, объединенные в один энергетический комплекс с водяными котлами или дизельными электрогенераторами, используются для получения тепловой и электрической энергии.

Газогенераторная станция теплоснабжения мощностью 200 кВт включает в себя слоевой генератор прямого процесса, теплогенератор с горелочным устройством для горячего водоснабжения. Станция предназначена для обеспечения горячей водой 20 коттеджей с площадью отапливаемых помещений по 150 м² каждый. В качестве сырья для газификации используются твердые бытовые отходы или их смесь с иловыми осадками очистных сооружений при интегральной влажности до 60%. Газогенераторная станция тепло- и электроснабжения тепловой мощностью 600 кВт включает в себя слоевой газогенератор обращенного процесса, систему очистки генераторного газа, водогрейный котел и дизель-генератор мощностью 300 кВт. Станция предназначена для автономного обеспечения теплом и электроэнергией 200-квартирного дома. Сырье для газогенерации — все виды органосодержащих отходов влажностью не более 60%.

Коэффициент использования теплоты генераторного газа при выработке тепловой энергии — 85%, комбинированной выработке тепловой и электрической энергии — 80...84%.

Благодаря применению обращенного процесса газификации, на 20% снижается металлоемкость теплоэлектрической установки.

Биотехнологическая конверсия биомассы. При биотехнологической конверсии, как правило, используется биомасса, прежде всего, разнообразные органические отходы влажностью не менее 75%.

Биологическая конверсия биомассы в топливо и энергию развивается по двум основным направлениям:

- ферментация с получением этанола, низших жирных кислот, углеводов, липидов;
- получение биогаза.

Получение биогаза связано, прежде всего, с переработкой и утилизацией отходов животноводства, птицеводства, растениеводства, пищевой, спиртовой промышленности, коммунально-бытовых стоков и осадков.

Создание многоукладного сельскохозяйственного производства в России и появление новых собственников в лице фермеров и самостоятельных крестьян потребовали разработки, создания и освоения производства биогазовых систем небольшой мощности и простых в эксплуатации.

Технические характеристики биоэнергетических и биогазовых установок, производимых в России, приведены в таблицах 18.8, 18.9.

*Таблица 18.8. Техническая характеристика
биоэнергетических установок, производимых в России*

Показатели	Газогенераторные установки		Биогазовые установки	
	200 кВт	600 кВт	ИБГУ-1	«БИОЭН-1»
1	2	3	4	5
Сырье	Опилки, щепа, хлысты, дрова, твердые бытовые отходы, торф, солома, стебли, лузга, лигнин		Отходы КРС, мелкого рогатого скота, лошадей, верблюдов, свиней, пушных зверей, птицы (кур, уток, гусей, индюшек), фекалии, растительные остатки, твердые бытовые отходы	
Допустимая влажность, %	Не более 60		Не менее 85	
Количество перерабатываемого сырья	80 кг/ч (св.), 200 кг/ч (влажность 60%)	240 кг/ч (св.), 600 кг/ч (влажность 60%)	200 кг в сутки	1000 кг в сутки
Производимое топливо	Синтез-газ, или «генераторный газ»		Биогаз	
Состав топлива	Моноокись углерода (угарный газ), водород, метан, следы углеводов		Метан 60%, CO ₂ 40%	
Теплота сгорания топлива, кДж/м ³ (при нормальных условиях)	10500...16700		21000...25100	

Продолжение таблицы 18.8

1	2	3	4	5
Количество вырабатываемого топлива (энергии), кВт·ч	Тепловой 200	Тепловой 600, электрической 180	10 м ³ в сутки	40 м ³ в сутки, 80 кВт·ч (Э.) 230 кВт·ч (Т)
Мощность, кВт: электрогенератора		200		4
теплогенератора	200	600		23,2
Затраты топлива (энергии) на собственные нужды установки	4 кВт·ч (э.)	30 кВт·ч (э.), или 15% от вырабатываемой электроэнергии	15 кВт·ч в сутки	30% от вырабатываемого биогаза
Режим работы		Автономный	Электрозависимый, ТЭН 2 кВт	Автономный
Температура процесса, °С	1200		52...55	
Размер отапливаемой площади, м ²	3000	200-квартирный дом		120...140
Дополнительно производимые продукты	Зола		Жидкие экологически чистые органические удобрения	
Окупаемость, годы	2...2,3	2,5...3		0,5
Норма применения удобрений на 1 га в год, т				1...3
Повышение урожайности			1,5...4 раза по разным культурам	
Фирма-разработчик	АО «Энерготехнология», г. Санкт-Петербург		АО Центр «ЭкоРос», Москва	
Фирма-изготовитель	АО «Энерготехнология», г. Санкт-Петербург		АО Центр «ЭкоРос», АО «Стройтехника — Тульский завод». АО «Юргинский машиностроительный завод. АО Заволжский авторемонтный завод»	

Таблица 18.9. Техническая характеристика биогазовых установок, производимых в России

Марка	Число и объем реакторов, м ²	Вид перерабатываемого сырья — навоза	Производительность по исходному навозу в сутки, т	Общий выход биогаза в сутки, м ³
БГУ-2,0	1×2,0	КРС	0,1	1,5
БГУ-25	1×25	Свиней	1,5	20
БГУ-50	1×50	КРС	3	40
БГУ-150	2×150	КРС	25	300
БГУ-500	4×125	КРС	40	400
	1×500	Свиней	100	450

19. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Безопасная эксплуатация электроустановок обеспечивается следующими мерами: зануление; заземление; выравнивание потенциалов; защитное отключение; двойная изоляция; разделительные трансформаторы.

Зануление — это преднамеренное соединение нулевой точки источника с корпусами электроприемников, нормально не находящимися под напряжением. Этим обеспечивается протекание больших токов по петле «фазный-нулевой провод» в случае повреждения фазной изоляции электроприемника. Возникшее однофазное к.з. отключается защитными устройствами. Надежное срабатывание защитных устройств будет в тех случаях, когда обеспечивается коэффициент чувствительности при одно-

фазных к.з. в самой удаленной точке для предохранителей: $k_u = \frac{I_{к.з.}}{I_{н.в.}} \geq 3$;

— для тепловых расцепителей автоматов: $k_u = \frac{I_{к.з.}}{I_{н.т.р.}} \geq 3$;

— для электромагнитных расцепителей автоматов: $k_u = \frac{I_{к.з.}}{I_{с.о.}} \geq 3$.

Защитное заземление — это металлическое соединение корпуса электрооборудования с горизонтальными и (или) вертикальными электродами, которые соприкасаются с землей. Защитное заземление снижает напряжение прикосновения в случае повреждения фазной изоляции потребителя за счет растекания токов с заземлителей в землю. Необходимо выдерживать нормы на сопротивление растеканию токов промышленной частоты с заземлителей. В сети 380 В сопротивления не должны превышать следующих значений:

- повторные заземления нулевого провода — 30 Ом;
- суммарное сопротивление всех повторных заземлителей нулевого провода линий 380 В — 10 Ом;
- собственное сопротивление заземления нейтрали генератора или трансформатора — 30 Ом;
- суммарное сопротивление всех заземляющих устройств, к которым подключены нейтраль и корпус трансформатора 10/0,4 кВ — 4 Ома.

Поскольку заземление ТП является общим для сети 10 кВ и для сети 0,38 кВ, то его сопротивление не должно превышать значение

$$R_{з.з.ТП} \leq \frac{125}{I_{зам.}}$$

где $I_{зам.}$ — ток замыкания на землю в сети 10 кВ.

Выравнивание потенциалов обеспечивает снижение напряжения прикосновения в случае попадания напряжения на корпус электрооборудования. Это достигается прокладкой зануленных металлических сеток под ногами людей на территориях подстанций. В животноводческих помещениях под ногами животных прокладывают выравнивающие полосы или со стороны кормовых проходов наклонно под углом 35...50°С под стойла погружают стержни диаметром не менее 10 мм. Длина стержня должна быть не менее половины длины стойла. Расстояние между штырями изменяется от периферии к центру помещения в арифметической прогрессии:

$$a_{4i} = a_{41} + (i-1)H,$$

где H — ширина стойла;

a_{41} — расстояние между первым (крайним) и вторым стержнем, $a_{41}=2H$;

a_{4i} — расстояние между произвольными стержнями.

Защитное отключение обеспечивает быстрое отключение электроустановки с поврежденной изоляцией. Это достигается применением специальных чувствительных трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП), магнитопроводы которых чаще всего охватывают три фазных провода. Ко вторичной обмотке ТТНП подключается полупроводниковый усилитель, на выходе которого установлено промежуточное реле, воздействующее на отключающий аппарат (пускатель или автомат). Время действия защитного отключения не превышает 0,2 с.

Двойная изоляция устанавливается чаще всего на электрифицированном инструменте. Она состоит из двух слоев, каждый из которых длительно и надежно выдерживает рабочее напряжение в случае пробоя другого слоя.

Разделяющий трансформатор может питать только один электроприемник мощностью не более 10 (16) кВА. Запрещается занулять или заземлять вторичную обмотку такого трансформатора, а корпус его должен быть занулен.

Безопасное производство ремонтных работ и работ по обслуживанию в электроустановках достигается выполнением организационных и технических мероприятий.

В настоящее время отказываются от понятия зануление, а приводят сведения о защитных и рабочих нулевых проводниках.

Существуют следующие системы заземления: *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT*, *IT* (рис. 19.1-19.5):

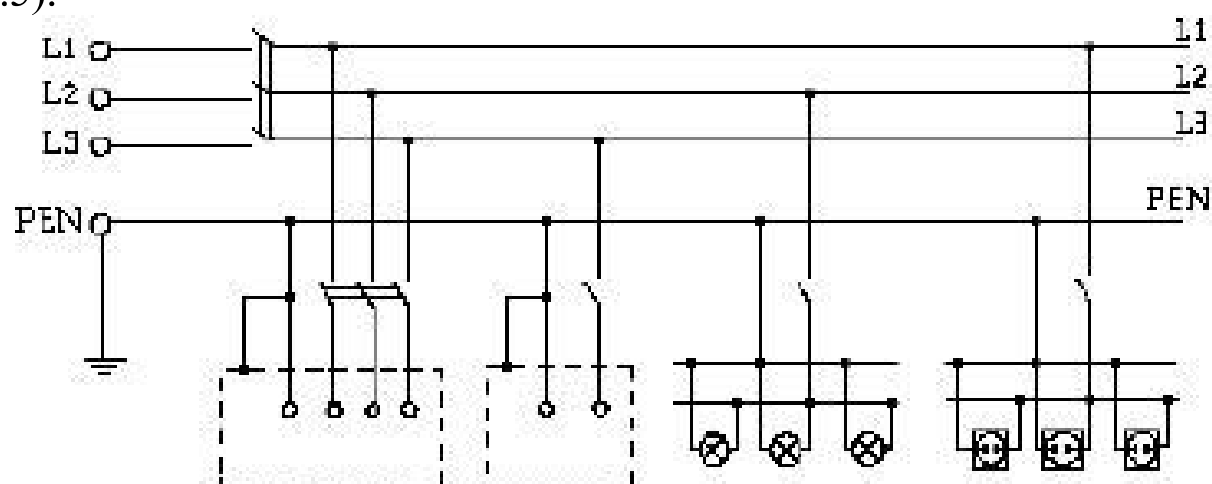


Рис. 19.1. Система *TN-C*

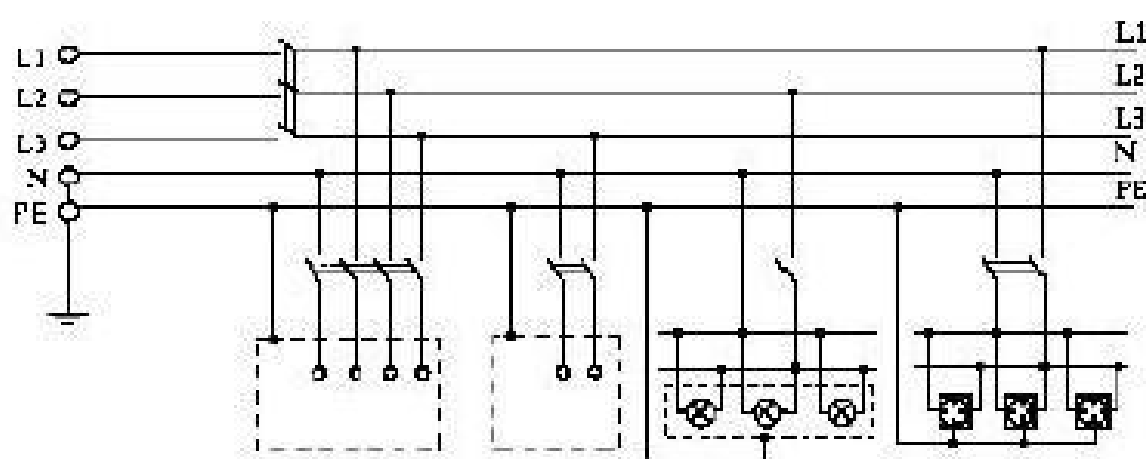


Рис. 19.2. Система *TN-S*

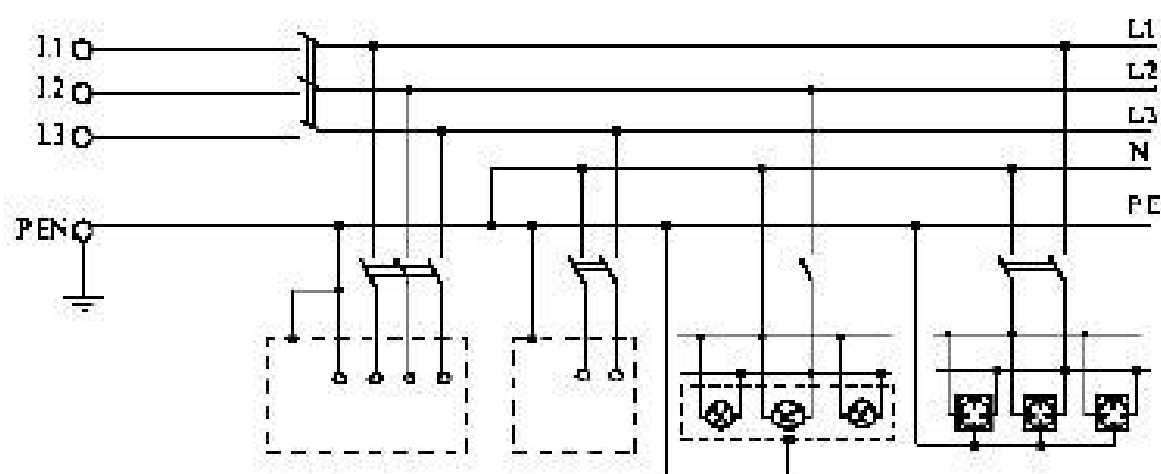


Рис. 19.3. Система *TN-C-S*

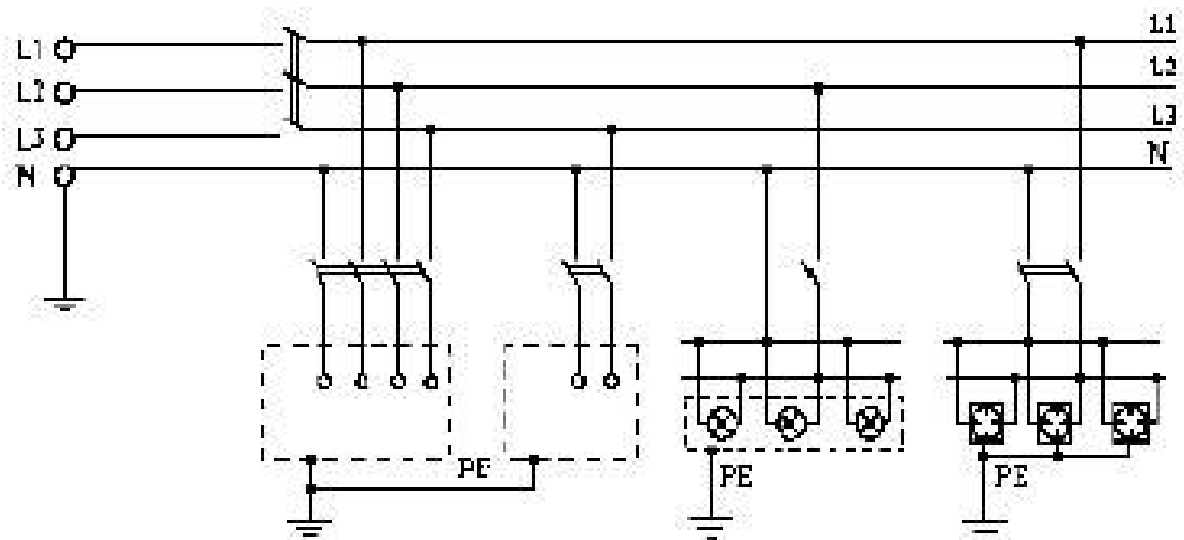


Рис. 19.4. Система TT

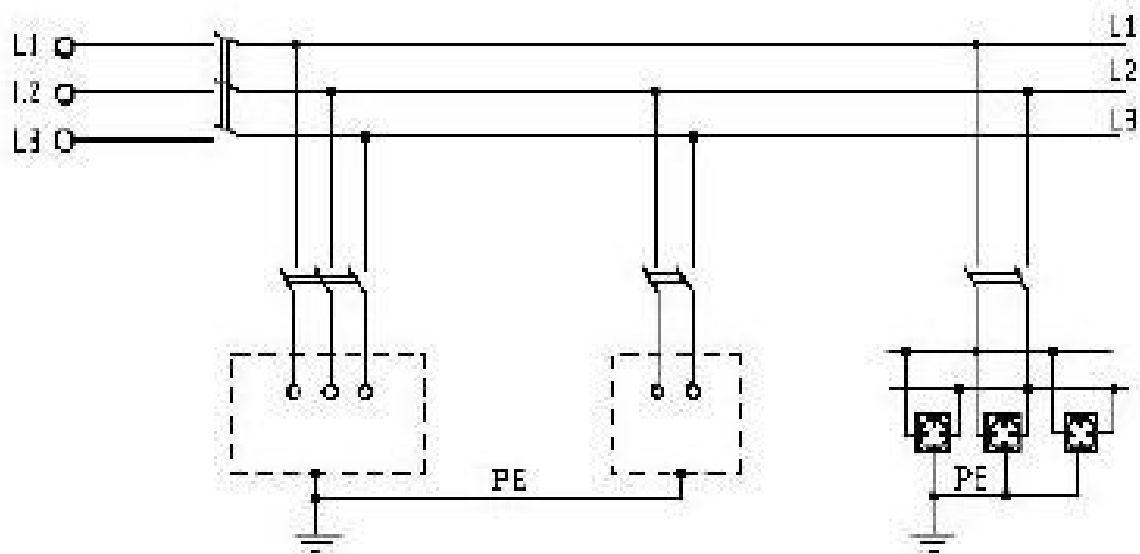


Рис. 19.5. Система IT

Первая буква в обозначении системы заземления определяет характер заземления источника питания:

T — непосредственное соединение нейтрали источника питания с землей;

I — все токоведущие части изолированы от земли.

Вторая буква определяет характер заземления открытых проводящих частей электроустановки здания:

T — непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки здания с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;

N — непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки здания с точкой заземления источника питания.

Буквы, следующие через черточку за *N*, определяют характер этой связи — функциональный способ устройства нулевого защитного и нулевого рабочего проводников:

S — функции нулевого защитного *PE* и нулевого рабочего *N* проводников обеспечиваются раздельными проводниками;

C — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются одним общим проводником *PEN*.

В Украине и СНГ до настоящего времени применяется система подобная *TN-C*, в которой открытые проводящие части электроустановки (корпуса, кожухи электрооборудования) соединены с заземленной нейтралью источника совмещенным нулевым защитным и рабочим проводником *PEN*, т.е. «занулены». Эта система относительно простая и дешевая. Однако она не обеспечивает необходимый уровень электробезопасности. Системы *TN-S*, и *TN-C-S* широко применяются в европейских странах — Германии, Австрии, Франции и др. В системе *TN-S* все открытые проводящие части электроустановки здания соединены отдельным нулевым защитным провод-

ником *РЕ* непосредственно с заземляющим устройством источника питания. При монтаже электроустановок правила предписывают применять для нулевого защитного проводника *РЕ* провод с желто-зеленой маркировкой изоляции. В системе *TN-C-S* во вводном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник *PEN* разделен на нулевой защитный *РЕ* и нулевой рабочий *N* проводники. В системе *TN-C-S* нулевой защитный проводник *РЕ* соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, в то время как нулевой рабочий проводник *N* не должен иметь соединения с землей. Наиболее перспективной для нашей страны является система *TN-C-S*, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции. В электроустановках с системами заземления *TN-S* и *TN-C-S* электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а устройствами защитного отключения (УЗО), действующими более эффективно в комплексе с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов.

20. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

20.1. Мероприятия по экономии энергоресурсов, электрической энергии

Экономический потенциал энергосбережения в АПК определяется как технически возможное и экономически целесообразное снижение потребления энергии без уменьшения объемов производства сельскохозяйственной продукции путем реализации энергосберегающих мероприятий (табл. 20.1), внедрения энергоэкономных технологий, техники, вовлечения в энергобаланс нетрадиционных источников энергии.

Анализ структуры энергозатрат в технологических процессах и технологиях производства сельскохозяйственной продукции, всех элементов систем энерго- и электроснабжения, а также энергосберегающих мероприятий, позволил оценить общий потенциал энергосбережения в АПК, который составляет 30 млн т.т (в том числе 25...30 млрд кВт·ч электроэнергии) и на предстоящие 8...10 лет — 18 млн т.т (в том числе 15 млрд кВт·ч электроэнергии) [3].

Энергосберегающая политика в АПК включает следующие направления:

- обоснование и определение рациональных потребностей сельских регионов, районов, структурных подразделений в энергоресурсах с учетом использования местных видов топлива и реализации энергосберегающих мероприятий;
- обоснование и разработка нормативов потребления энергии и показателей энергоемкости по основным процессам сельскохозяйственного производства;
- освоение энергоэкономных технологий производства сельскохозяйственной продукции, включая новые электротехнологии, основанные на использовании электрофизических методов воздействия на биообъекты и продукты переработки;
- разработка и внедрение эффективных технологий и экономного оборудования по вовлечению в энергобаланс и широкому использованию местных энергоресурсов, использованию и переработке биомассы, растительных и древесных отходов в удобные для сельских потребителей энергоносители;
- освоение нового электротеплового и теплоэнергетического оборудования с повышенным КПД, реализация децентрализованных систем энергоснабжения, обеспечивающих повышение КПД топлива и экономию до 20% ТЭР за счет ликвидации или сокращения распределительных сетей;
- разработка и освоение современных технологий и энергетического оборудования по использованию возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов;

- получение альтернативных видов топлива и энергии (топливо из растительных масел, биогаз, водородное топливо и др.) и их использование в сельскохозяйственном производстве;
- введение пообъектного учета расхода энергоносителей с оснащением приборами контроля и регулирования расхода энергии, реализация многотарифной системы расчетов за электроэнергию.

Все эти направления включают мероприятия, обеспечивающие экономию электрической энергии, а также получение ее путем использования возобновляемых источников энергии от установок, преобразующих (при сгорании) энергию биомассы, растительных и древесных отходов в электрическую и тепловую.

Таблица 20.1. Основные направления и мероприятия по экономии электроэнергии в сельском хозяйстве

Направления	Мероприятия по экономии электроэнергии	Потенциал сбережения электроэнергии, млрд кВт·ч
1	2	3
Сокращение потерь в электросетях	Оптимизация сетей; выравнивание сечений проводов; использование для передачи более высоких напряжений — 110/35/0,4 кВ; использование компенсаторов реактивной энергии	2
Регулируемый электропривод	Ревизия и точное согласование привода с нагрузкой; разработка и внедрение регулируемых электроприводов; использование систем регулирования на работающих приводах	2,5
Энергоэкономные системы и средства освещения помещений	Замена ламп накаливания компактными люминесцентными лампами с высокой световой отдачей; использование систем регулирования освещения в птицеводстве и животноводстве по программам	3,5
Внедрение энергоэкономных электротехнологий взамен традиционных (механических или тепловых) в сельскохозяйственном производстве	Внедрение установок, реализующих электрофизические методы для очистки и сортирования семян; СВЧ сушка сельскохозяйственных материалов; инфракрасный обогрев молодняка; микротокое воздействие на картофель и овощи при хранении (сокращение потерь); использование озонирования в процессах сушки, дезинфекции среды, кормов и продуктов; электроимпульсное воздействие на сорняки для их уничтожения и скашиваемые травы для ускорения сушки	3,5
Организация эксплуатации электро- и энергооборудования, а также качественного и своевременного ремонта	Организация профессиональных эксплуатационных служб с обучением персонала; внедрение системы ППРЭсх	2,5
Внедрение энергоэкономных осветительных, отопительных и других систем, приборов и технических средств в быту и социальной сфере	Новые энергоэкономные технические средства, электрифицированная бытовая техника; аккумуляторные системы для отопления и нагрева воды	3,5

Продолжение таблицы 20.1

1	2	3
Экономия электроэнергии в электротепловых процессах производства	Использование децентрализованных систем электроснабжения в сельскохозяйственном производстве; утилизация выбросного тепла сельскохозяйственных помещений в системах микроклимата; внедрение локального электрообогрева животных	1,2
Использование растительных и древесных отходов для выработки газообразного- и жидкого топлива, частично используемого для производства электроэнергии	Получение биогаза из отходов животноводства, а также генераторного газа и жидкого топлива и использование их для выработки электроэнергии	0,8
Использование возобновляемых источников энергии для преобразования их в электрическую энергию	Фотоэлектрические установки; ветроэнергетические установки; микроГЭС	4,5
Реализация оргтехмероприятий по учету и экономии электроэнергии	Пообъектный учет расхода электроэнергии; многотарифная система учета; поощрения на экономию и штрафы за перерасход энергии; средства регулирования параметров электрифицированных процессов и расхода электроэнергии	4
Всего		28
В том числе реализуемый потенциал экономии электроэнергии в ближайшие 8...10 лет		15...18

20.2. Рекомендуемые нормативы (нормы) расхода электрической энергии в основных процессах сельскохозяйственного производства

За норматив (норму) расхода электрической энергии принимается минимальное, но достаточное количество электроэнергии, необходимое для выполнения работы, предписанной заданной технологией рассматриваемого производства. Нормы базируются на прогрессивных технологиях и определяют удельные показатели годового расхода электрической энергии на измеритель норм — голову скота, птицы, скотоместо, на 1 м² или 1 га площади, на 1 условный ремонт, на единицу продукции [3].

Нормативы (нормы) подразделяются на технологические и общепроизводственные (табл. 20.2).

Технологические нормы определяют расход электроэнергии на выполнение данного технологического процесса. Общепроизводственные нормы включают также расход энергии в подсобных и вспомогательных процессах и службах (по проекту), участвующих в производстве конечного продукта, а также потери энергии во внутренних сетях. Рекомендуемые нормы могут быть использованы для обоснования потребностей

цеха, фермы, хозяйства в электрической энергии для данного производства, а также определения электроемкости производимого продукта, т.е. прямых затрат электрической энергии на единицу продукции.

Таблица 20.2. Нормативы (нормы) расхода электрической энергии по основным сельскохозяйственным производствам

Наименование процессов, предприятий	Норматив	
	технологическая норма	общепроизводственная норма
1	2	3
Животноводство		
Комплексы КРС молочного направления, кВт·ч / голов в год	652	1005
Молочные фермы, кВт·ч / голов в год	391	582
Комплексы по откорму молодняка, кВт·ч / голов в год	170	267
Откормочные площадки промышленной технологии, кВт·ч / скотоместо в год	50	83
Площадки по откорму молодняка (упрощенная технология), кВт·ч / скотоместо в год	138	170
Свинокомплексы по промышленному производству свинины, кВт·ч / голов в год	91	108
Репродукторные свинофермы, кВт·ч / на 1 свиноматку в год	1650	2047
Свинооткормочные фермы, кВт·ч / голов в год	87	109
Овцеводческие предприятия тонкорунного направления, кВт·ч / на 1 овцематку в год	45	58
То же, романовского направления, кВт·ч / на 1 овцематку в год	270	325
То же, каракульского направления (для среднеазиатского и южно-казахстанского направления), кВт·ч / на 1 овцематку в год	13	17
Птицеводство		
Птицефабрики замкнутого цикла яичного направления, кВт·ч / на 1 несушку в год	19,3	20,4
Птицефабрика узкоспециализированная по производству пищевых яиц, кВт·ч / на 1 несушку в год	9,2	9,7
Племенной завод яичного направления, кВт·ч / на 1 несушку в год	25	26
Племенной завод мясного направления, кВт·ч / на 1 несушку в год	31,5	32,3
Птицефабрика ремонтного молодняка, кВт·ч / на 1 голову за цикл:		
при клеточном содержании	3,7	4
при напольном содержании	6,6	6,9

Продолжение таблицы 20.2

1	2	3
Бройлерная птицефабрика, кВт·ч / на 1 бройлера за цикл:		
при клеточном содержании	3,2	3,7
при напольном содержании	5,1	5,4
Овощеводство закрытого грунта		
Зимние теплицы блочные, кВт·ч / м ² в год:		
при полной электрификации (включая электрообогрев шатра, почвы и облучение растений)	589	628
при существующем уровне электрификации на период 1998-2000 гг.	73	89
Зимние теплицы ангарные, кВт·ч / м ² в год:		
при полной электрификации (включая электрообогрев шатра, почвы и облучение растений)	615	646
при существующем уровне электрификации на период 1998-2000 гг.	76	92
Весенние пленочные теплицы, кВт·ч / м ² в год:		
при полной электрификации, включая электрообогрев	192	222
при существующем уровне электрификации на 1998-2000 гг.	25	29
Обработка, сушка, хранение зерна, производство кормов		
Очистка, сушка, активное вентилирование зерна (зерноочистительно-сушильные комплексы), кВт·ч / т в год	41	42
Заготовка сена методом активного вентилирования (с электроподогревом), кВт·ч / т в год	105	105
Приготовление травяной муки, кВт·ч/т в год:		
в рассыпном виде	105	105
гранулированной	155	155
Производство комбикормов в хозяйстве	38	38

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / под. ред. П.А. Каткова, В.И. Франгуляна. — М.: Энергия, 1980. — 352 с.
2. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская — М.: Колос, 2000. — 536 с.
3. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства: учебное пособие. — М.: Информагротех, 1999. — 536 с.
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. / под ред. А.А. Федорова. Т.2. Электрооборудование. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 592 с.
5. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. — М., 2003.
6. Справочная книжка энергетика / А.Д. Смирнов, К.М. Антипов. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 568 с.
7. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование / И.Л. Каганов. — М.: Агропроиздат, 1990. — 351 с.
8. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под. ред. Ю.Г. Барыбина и др. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 464 с.
9. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А.В. Беляев. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 176 с.
10. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию / В.И. Дьяков. — М.: Высшая школа, 1991. — 160 с.
11. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 448 с.
12. Пускатели электромагнитные серии ПМЛ. — М.: Информэлектро, 1982. — 16 с.
13. Реле электротепловые токовые серии РТТ. — М.: Информэлектро, 1982. — 6 с.
14. Реле электротепловые серии РТЛ. — М.: Информэлектро, 1980. — 5 с.
15. Электромонтажные устройства и изделия: справочник. — М. Энергоатомиздат, 1983. — 176 с.
16. Ванурин В.Н. Современные асинхронные электродвигатели / В.Н. Ванурин. — зерноград: АЧИМСХ, 1987. — 242 с.
17. Каталог электродвигателей Ярославского электромашиностроительного завода. — Ярославль: ЯЭМЗ, 1996. — 29 с.
18. Карпов Ф.Ф. Как проверить возможность подключения к электрической сети двигателей с короткозамкнутым ротором / Ф.Ф. Карпов. — М: Энергия, 1971. — 88 с.
19. Справочник электромонтера по оборудованию животноводческих ферм и комплексов. — Мн.: Урожай, 1984. — 60 с.
20. Водяников В.Т. Экономическая оценка средств электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства и систем сельской энергетики: учебное пособие для студентов, аспирантов и специалистов сельской энергетики / В.Т. Водяников. — М.: МГАУ, 1997. — 180 с.
21. Краткий физико-математический справочник / А.Г. Аленицын, Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. — М.: Наука, 1990. — 364 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Сведения для экономических расчетов

Таблица 1. Амортизационные отчисления в % от балансовой стоимости

Элементы электросетей и оборудование	Норма
Здания производственные и непроизводственные одно- и двухэтажные с площадью пола до 5000 м ²	1,2
свыше 5000 м ²	1,0
Здания одноэтажные с облегченной кладкой; деревянные	2,5
Жилые здания облегченной кладки	1,0
ВЛ 0,38-10 на железобетонных и металлических опорах	3,0
ВЛ 0,38-10 на деревянных опорах из пропитанной древесины	4,0
ВЛ 0,38-10 на деревянных опорах из непропитанной древесины	6,0
Кабели со свинцовой оболочкой до 10 кВ	2,0
Кабели со свинцовой оболочкой до 10 кВ под водой	4,0
Кабели с алюминиевой оболочкой, проложенные в земле	4,0
Кабели с алюминиевой оболочкой, проложенные в помещении	2,0
Кабели с пластмассовой изоляцией	5,0
Оборудование распределительных устройств	4,4
Электродвигатели с высотой оси 63...450 мм	6,6
450 мм	5,6
Дизель — генераторы со скоростью вращения более 500 об./мин.	6,2
Инструмент моторизованный	33,2
Электростанции на автоприцепах	10,8
Электростанции на базе тракторов 30...100 кВт	8,0
Передвижные установки для сварки	14,3
Аккумуляторы переносные кислотные	33,3
Выпрямители, стабилизаторы, инверторы	7,1
Ветродвигатели	3,3
Насосы погружные, мотопомпы	20,0
Для погружных и вакуумных электронасосов, используемых на строительном водопонижении и осушительных работах	10,0
Насосы центробежные, водопроводные и канализационные	12,5
Насосы вакуумные, вакуумные установки	10,0
Вентиляторы, кондиционеры, воздухонагреватели	11,1
Водонапорные башни металлические	5,0
Водонапорные башни кирпичные с резервуаром	2,0
Резервуары воды с обваловыванием железобетонные	2,5
заземленные металлические	3,3
Артезианские скважины:	
бесфильтровые	4,1
фильтровые	6,7
фильтровые в условиях минерализированной воды	12,5
Сети водопроводные стальные	5,0
Электроизмерительные приборы	13,4
Котельные установки на газе	8,5

Таблица 2. Стоимость воздушных линий до 1000 В
(в ценах 1982 г.) в 1-2 районах по гололеду, тыс.руб./км

Провод	Количество проводов	Ж/б опоры	Деревянные с ж/б приставками	Деревянные с деревянными приставками	Деревянные с цельными стойками
А-16	2	2,46	1,19	1,64	1,82
	3	2,55	2,0	1,73	1,93
	4	2,64	2,09	1,82	2,0
	5	2,73	2,18	1,91	2,09
А-25	3	-	2,06	1,79	1,9
	4	2,73	2,18	1,91	2,04
	5	2,82	2,28	2,0	2,18
А-35	4	2,91	2,39	2,09	2,22
	5	3,0	2,46	2,18	2,36
А-50	4	3,1	2,55	2,28	2,41
	5	3,37	2,82	2,55	2,63

Таблица 3. Стоимость трансформаторных подстанций 10/0,38 кВ
(в ценах 1982 г.), тыс.руб.

Конструкция	Мощность трансформатора, кВА							
	25	40	63	100	160	250	400	630
На П-образной опоре из железобетона	1,24	1,28	1,33	1,45	—	—	—	—
На П-образной деревянной опоре с ж/б приставкой	1,39	1,43	1,48	1,60	—	—	—	—
На АП-образной деревянной опоре с ж/б приставкой	—	—	—	—	2,19	2,35	—	—
КТП	1,17	1,21	1,28	1,42	1,59	—	4,01	5,32
КТП закрытая кирпичная								
с 1-м кабельным вводом	—	—	—	4,0	4,2	4,48	4,81	—
с 2-мя кабельными вводами	—	—	—	8,0	8,41	8,95	9,73	—
с 1-м воздушным вводом	—	—	—	4,44	4,66	4,97	5,32	—
КТП закрытая из армоцемента								
тупиковая	1,39	1,44	1,49	1,75	2,06	2,41	—	—
проходная	—	—	—	5,93	6,17	6,48	—	—
2-х трансформаторная, 3 кабельных ввода	—	—	—	9,13	9,34	9,62	10,1	11,2
2-х трансформаторная, 4 воздушных ввода	—	—	—	9,8	10,0	10,3	10,6	—

Таблица 4. Усредненные значения времени потерь, час

Элемент сети	Вид нагрузки	Время потерь
Линии 10 кВ	Смешанная	1900
Подстанции 10/0,4 кВ	Коммунально-бытовая	1100
	Производственная	1500
	Смешанная с преобладанием производственной	1800
	Смешанная с преобладанием коммунально-бытовой	1400
	Молочно-товарная ферма	3500
	Свинооткормочная ферма	2500
	Мастерская	1000
Линии 0,38 кВ	Смешанная	1200
	Коммунально-бытовая	900
	Производственная	1000

Таблица 5. Ориентировочные значения коэффициента мощности

Вид преобладающей нагрузки	tg φ	cos φ
Производственная	0,75	0,8
Коммунально-бытовая	0,48	0,9
Животноводческие комплексы	0,88	0,75
Насосные мелкомагистрального орошения	0,75	0,8
Теплицы, парники и другие электротепловые нагрузки	0,33	0,95

Энергетические сведения

Таблица 1. Связь между единицами мощности

Единицы мощности	Вт=Дж/с	кВт	л.с.	кГ·м/с
1 Вт	1	10^{-3}	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,102
1 кВт	1000	1	1,36	102
1 л.с.	736	0,736	1	75
1 кГ·м/с	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-2}$	1

Таблица 2. Связь между единицами работы, энергии, теплоты

Единицы	Дж=Н·м	кВт·ч	кГ·м	ккал
1 Дж	1	$2,78 \cdot 10^{-7}$	0,102	$0,239 \cdot 10^{-3}$
1 кВт·ч	$3,6 \cdot 10^6$	1	$3,67 \cdot 10^5$	860
1 кГ·м	9,81	$2,73 \cdot 10^{-6}$	1	$2,34 \cdot 10^{-5}$
1 ккал	$4,19 \cdot 10^3$	$1,163 \cdot 10^{-3}$	427	1

Теплотворная способность 1 тонны условного топлива — 29,3 МДж/кг.

Плотность воздуха на уровне моря — 1,2 кг/м³.

Таблица 3. Температурные коэффициенты линейного расширения, сопротивления

Материал	Коэффициент линейного расширения 1/К при температуре 0 °К	Коэффициент сопротивления
Медь	$17 \cdot 10^{-6}$	293
Алюминий	$23 \cdot 10^{-6}$	293
Железо	$12 \cdot 10^{-6}$	293
Свинец	$29 \cdot 10^{-6}$	293
Плавленный свинец	$0,4 \cdot 10^{-6}$	293
Кварц	$0,6 \cdot 10^{-6}$	600
Вода жидкая	$123 \cdot 10^{-6}$	277...373

Таблица 4. Физические величины и их единицы в СИ

Величина	Размерность	Единица				Определение
		Наименование	Обозначение		русское	
			международное			
1	2	3	4	5	6	
Длина	L	метр	M	м	Длина пути, проходимого светом в вакууме за 1/299 792 458 секунды	
Масса	M	килограмм	kg	Кг	Масса, равная массе международного прототипа килограмма	
Время	T	секунды	s	с	Время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия — 133	
Сила электрического тока	I	ампер	A	A	Сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум прямым параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, создал бы между этими проводниками силу, равную $2\cdot10^{-7}$ Н на каждый метр длины	
Термодинамическая температура	θ	кельвин	K	K	1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды	
Количество вещества	N	моль	mol	моль	Количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода-12 массой 0,012 кг	
Сила света	J	кандела	cd	кд	Сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540\cdot10^{-12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет (1/683) Вт/ср	

1	2	3	4	5	6
Дополнительные единицы					
Плоский угол		радиан	rad	рад	Угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу
Телесный угол		стерадиан	sr	ср	Телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы
Производные единицы					
Скорость	$L T^{-1}$	метр в секунду	m/s	м/с	Скорость равномерного движения, при котором за 1 с преодолевается расстояние 1 м
Ускорение	$L T^{-2}$	метр на секунду в квадрате	m/s^2	m/c^2	Ускорение равноускоренного движения, при котором за 1 с скорость изменяется на 1 м/с
Угловая скорость	T^{-1}	радиан в секунду	rad/s	рад/с	Угловая скорость равномерного вращения, при котором за 1 с совершается поворот на 1 рад
Частота	T^{-1}	герц	Hz	Гц	Частота процесса, 1 цикл которого совершается за 1 с
Плотность	ML^{-3}	килограмм на кубический метр	kg/m^3	$кг/м^3$	Плотность вещества, содержащего 1 кг в объеме 1 m^3
Импульс	MLT^{-1}	килограмм-метр в секунду	$Kg \cdot m/s$	$Кг \cdot м/с$	Импульс тела массой 1 кг при скорости 1 м/с
Сила	MLT^{-2}	ньютон	N	Н	Сила, сообщающая телу массой 1 кг ускорение 1 m/c^2
Давление	$ML^{-1}T^{-2}$	паскаль	Pa	Па	Давление, создаваемое силой 1 Н на площади 1 m^2
Работа, энергия, количество теплоты	ML^2T^{-2}	джоуль	J	Дж	Работа силы 1 Н при перемещении 1 м вдоль направления силы
Мощность	ML^2T^{-3}	ватт	W	Вт	Мощность, при которой за 1 с совершается работа 1 Дж

1	2	3	4	5	6
Удельная теплоемкость	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	джоуль на килограмм-кельвин	$J/(kg \cdot K)$	Дж/(кг·К)	Теплоемкость 1 кг вещества, температура которого повышается на 1 К при сообщении ему количества теплоты 1 Дж
Количество электричества, электрический заряд	ТИ	кулон	С	Кл	Количество электричества, проходящее за 1 с через поперечное сечение при силе тока 1 А
Напряженность электрического поля	$MLT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	V/m	В/м	Напряженность однородного электрического поля, в котором разность потенциалов между двумя точками, удаленными на 1 м вдоль линии напряженности, равна 1 В
Разность потенциалов	$ML^2T^{-3}I^{-1}$	вольт	V	В	Напряжение между точками цепи, где развивается мощность 1 Вт при силе тока 1 А
Электрическая емкость	$M^{-1}L^{-2}I^2$	фарад	F	Ф	Емкость конденсатора, на котором заряд 1 Кл создает напряженность 1 В
Электрическое сопротивление	$ML^2T^{-3}I^2$	ом	Ω	Ом	Сопротивление участка цепи, в котором напряжение 1 В вызывает ток 1 А
Удельное электрическое сопротивление	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	ом-метр	$\Omega \cdot m$	Ом·м	Удельное сопротивление вещества, проводник из которого длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 м ² обладает сопротивлением 1 Ом
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл	Магнитная индукция, при которой магнитный поток через поперечное сечение 1 м ² равен 1 Вб
Магнитный поток	$ML^2T^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб	Магнитный поток, убывание которого до нуля вызывает в сцепленной с ним электрической цепи сопротивлением 1 Ом прохождение заряда 1 Кл
Индуктивность	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн	Индуктивность контура, с которым сцеплен магнитный поток 1 Вб при силе тока в контуре 1 А
Световой поток	J	люмен	lm	лм	Световой поток в телесный угол 1 ср при силе света 1 кд
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	lx	лк	Освещенность поверхности площадью 1 м ² при падении на нее светового потока 1 лм

Таблица 1. Технические данные генераторов

Тип генератора	Мощность, МВт	cosφ	Номинальное напряжение, кВ	Сверхпереходное индуктивное сопротивление X_d'' , Ом
Воздушное охлаждение				
T2-0,75-2	0,75	0,8	0,4; 6,3	0,12; 0,141
T2Б-1,5-2	1,5	0,8	0,4; 6,3	0,154; 0,115
T2-2,5-2	2,5	0,8	3,15; 6,3	0,091
T2-4-2	4	0,8	3,15; 6,3	0,111
T2-6-2	6	0,8	3,15; 6,3	0,12
T2-12-2	12	0,8	6,3; 10,5	0,115; 0,131
Водородное охлаждение				
ТВС-30	30	0,8	6,3; 10,5	0,143; 0,152
ТВ-60-2	60	0,8	6,3; 10,5	0,132
ТВ-2-100-2	100	0,8	13,8	0,138
ТВ-2-150-2	150	0,8	18	0,122
ТВФ-100-2	100	0,85	10,5	0,183
ТВВ-165-2	165	0,85	18	0,235

Таблица 2. Расчетные сопротивления, $\text{Ом} \cdot 10^{-3}$, масляных трансформаторов по ГОСТ-401-41 со схемой соединения Y/Yo при вторичном напряжении 400/230 В

Тип трансформатора	Первичное напряжение, кВ	Z_{T0}	cos φ ₀	$r_{T1}=r_{T2}$	r_{T0}	$X_{T1}=X_{T2}$	X_{T0}	Z_T
ТМ-20, ТМА-20	6...10	3174	0,5	240	1587	3688	2749	414
ТМ-30	6...10	2116	0,5	149	1058	2510	1831	270
ТМ-50	6...10	1267	0,5	84,8	635	1542	1099	1622
ТМ-100	6...10	635	0,4	38,4	2541	79,2	582	811
ТМА-100	35	556	0,35	38,4	195	96,7	520	768
ТСМА-100	6...10	635	0,4	33,1	2541	64	582	779
ТСМ-100/35	35	556	0,35	38,4	195	97	520	762
ТМ-180, ТМА-180	6...10	353	0,38	19,8	134	44,7	326	451
ТМ-180, ТМА-180	35	309	0,35	20,2	108	54,1	289	425
ТМ-320, ТМА-320	6...10	198	0,35	9,5	69,4	25,8	186	254
ТМ-320, ТМА-320	35	174	0,35	9,7	60,8	31	163	239
ТМ-560, ТМА-560	6...10	113	0,3	4,8	34	15	108	145
ТМ-560, ТМА-560	35	99,2	0,3	4,8	29,8	17,9	94,7	137
ТМ-750, ТМА-750/10	6...10	84,6	0,3	3,4	25,4	11,2	80,7	108
ТМ-1000, ТМА-1000/10-10А	6...10	63,5	0,3	2,4	19,1	8,5	60,6	82
ТМ-1000, ТМ-1000/35А	20...35	55,6	0,3	2,4	16,7	10,1	53,1	77

Таблица 3. Расчетные сопротивления, $\text{Ом} \cdot 10^{-3}$, масляных трансформаторов по ГОСТ 11920-66 и ГОСТ 12022-66 при вторичном напряжении 400/230 В

Мощность трансформатора, кВА	Первичное напряжение, кВ	Схема соединения	Z_{T0}	$\cos \varphi_0$	$r_{T1}=r_{T2}$	r_{T0}	$X_{T1}=X_{T2}$	X_{T0}	Z_T
25	6...10	Y/Yo	2542	0,65	153	1650	244	1930	3110
40	6...10	Y/Yo	1587	0,6	88	952	157	1269	1949
63	6...10	Y/Yo	1009	0,5	52	504	102	873	1237
	20	Y/Yo	882	0,45	52	397	116	787	1136
100	6...10	Y/Yo	635	0,4	31,5	254	64,7	582	779
	20...35	Y/Yo	556	0,35	31,5	195	99	520	764
160	6...10	Y/Yo	397	0,38	16,6	151	41,7	367	487
	20...35	Y/Yo	347	0,35	16,6	122	62,8	326	478
250	6...10	Y/Yo	254	0,38	9,4	96,5	27,2	235	312
	20...35	Y/Yo	222	0,35	9,4	77,8	40,5	208	305
400	6...10	Y/Yo	159	0,35	5,5	55,6	17,1	149	195
	20...35	Y/Yo	139	0,35	5,5	48,7	25,4	130	191
	6...10	Д/Yo	22	—	5,9	—	21,2	—	66
630	6...10	Y/Yo	101	0,3	3,1	30,3	13,6	96,2	129
	20...35	Y/Yo	88	0,3	3,1	26,2	16,2	84,2	121
	6...10	Д/Yo	14	—	3,4	—	13,5	—	42
1000	6...10	Y/Yo	63,5	0,3	2	19,1	8,5	60,6	81
	20...35	Y/Yo	5,6	0,3	2	16,7	10,3	53,1	77
	6...10	Д/Yo	2,6	—	2	—	8,5	—	26
	20...35	Д/Yo	3,1	—	2	—	10,3	—	31

Таблица 4. Расчетные сопротивления ($\text{Ом} \cdot 10^{-3}$) сухих трансформаторов с вторичным напряжением 400/230 В

Мощность трансформатора, кВА	Схема соединения	Z_{T0}	$\cos \varphi_0$	$r_{T1}=r_{T2}$	r_{T0}	$X_{T1}=X_{T2}$	X_{T0}	Z_T
160	Д/Yo	—	—	16,9	—	52,4	—	165
180	Y/Yo	353	0,38	14,8	134	46,6	326	451
250	Д/Yo	—	—	9,7	—	33,8	—	106
320	Y/Yo	198	0,35	7,7	69,4	26,4	186	254
400	Д/Yo	22	—	5,4	—	21,3	—	66
560	Y/Yo	113	0,3	3,8	34	15,3	108	145
630	Д/Yo	14	—	2,9	—	13,7	—	42
750	Y/Yo	85	0,3	2,5	25,4	11,4	80,7	108
1000	Д/Yo	8,8	—	1,8	—	8,6	—	27
1000	Y/Yo	64	0,3	2,1	19,1	8,6	60,6	82

Примечание. В таблицах обозначено: Z_{T0} — полное сопротивление нулевой последовательности трансформатора; r_{T1} , r_{T2} , r_{T0} — активные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности трансформатора соответственно; X_{T1} , X_{T2} , X_{T0} — индуктивные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности трансформатора соответственно; Z_T — сопротивление трансформатора току однофазного к.з. В таблицах 2, 3 и 4 приведены расчетные значения составляющих сопротивлений и значения суммарных сопротивлений Z_T при вторичном напряжении 400/230 В. При вторичном напряжении 230/127 В приведенные в таблицах значения следует уменьшить в 3 раза. При этом надо иметь в виду, что при расчете сопротивления цепи однофазного к.з. сопротивление Z_T входит третьей своей величины.

Защитные характеристики
автоматических выключателей и предохранителей

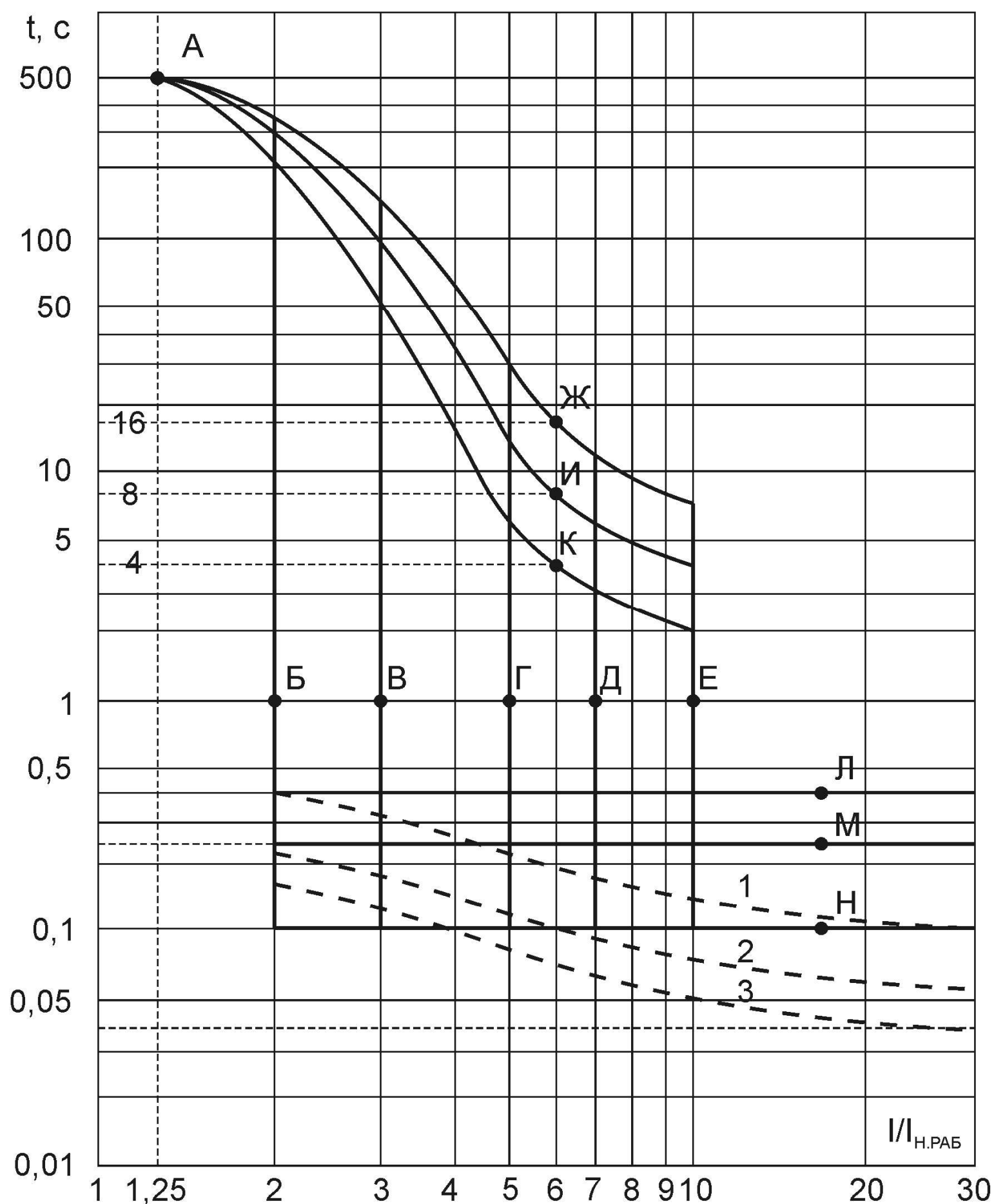


Рис. 1. Защитные характеристики автоматических выключателей А3700 переменного тока с полупроводниковым расцепителем

Полупроводниковое реле (расцепитель серии РП) допускает плавную регулировку номинального рабочего тока расцепителя $I_{н.РАБ}$ (точка А на рисунке соответствует току срабатывания перегрузки при принятом значении $I_{н.РАБ}$); тока срабатывания отсечки $I_{с.О}$ (точки А, Б, В, Г, Д); времени срабатывания защиты от перегрузки $t_{с.П}$ при токе $6I_{н.РАБ}$ (точки Ж, И, К); времени срабатывания отсечки $t_{с.О}$ (точки Л, М, Н) для селективных выключателей. Пунктирными линиями обозначена характеристика неселективных выключателей в зоне токов к.з.

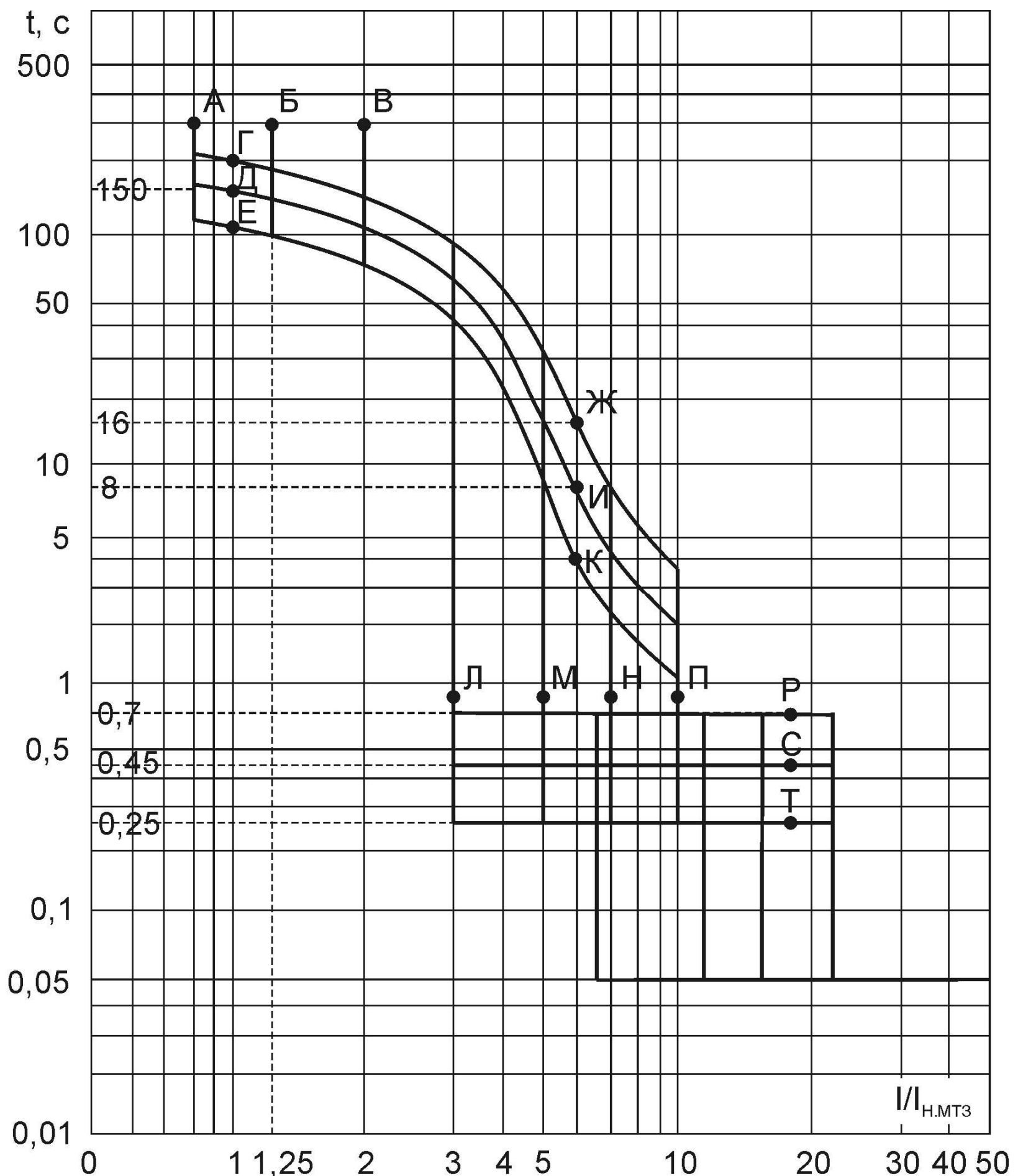


Рис. 2. Защитные характеристики выключателя
«Электрон» с полупроводниковым реле серии МТЗ

При установке переключателя в положение Н (нижнее) реле имеет зависимую от тока характеристику защиты от перегрузки с регулируемыми уставками тока срабатывания (точки А, Б, В), времени срабатывания при токе $I_{H.MT3}$ (точки Г, Д, Е) и токе $6I_{H.MT3}$ (точки Ж, И, К); селективную отсечку с регулируемыми уставками тока срабатывания (точки Л, М, Н, П) и времени срабатывания (точки Р, С, Т), причем для выключателей переменного тока при токе более $(2,2...3,0)I_{C.0}$ отсечка срабатывает без выдержки времени. При установке переключателя в положение С (среднее) выключатель имеет аналогичную характеристику, но без выдержки времени при срабатывании отсечки (показано штрихпунктиром). При установке переключателя в положение В (верхнее) выключатель имеет независимую от тока характеристику срабатывания без выдержки времени при токе, равном току срабатывания защиты от перегрузки.

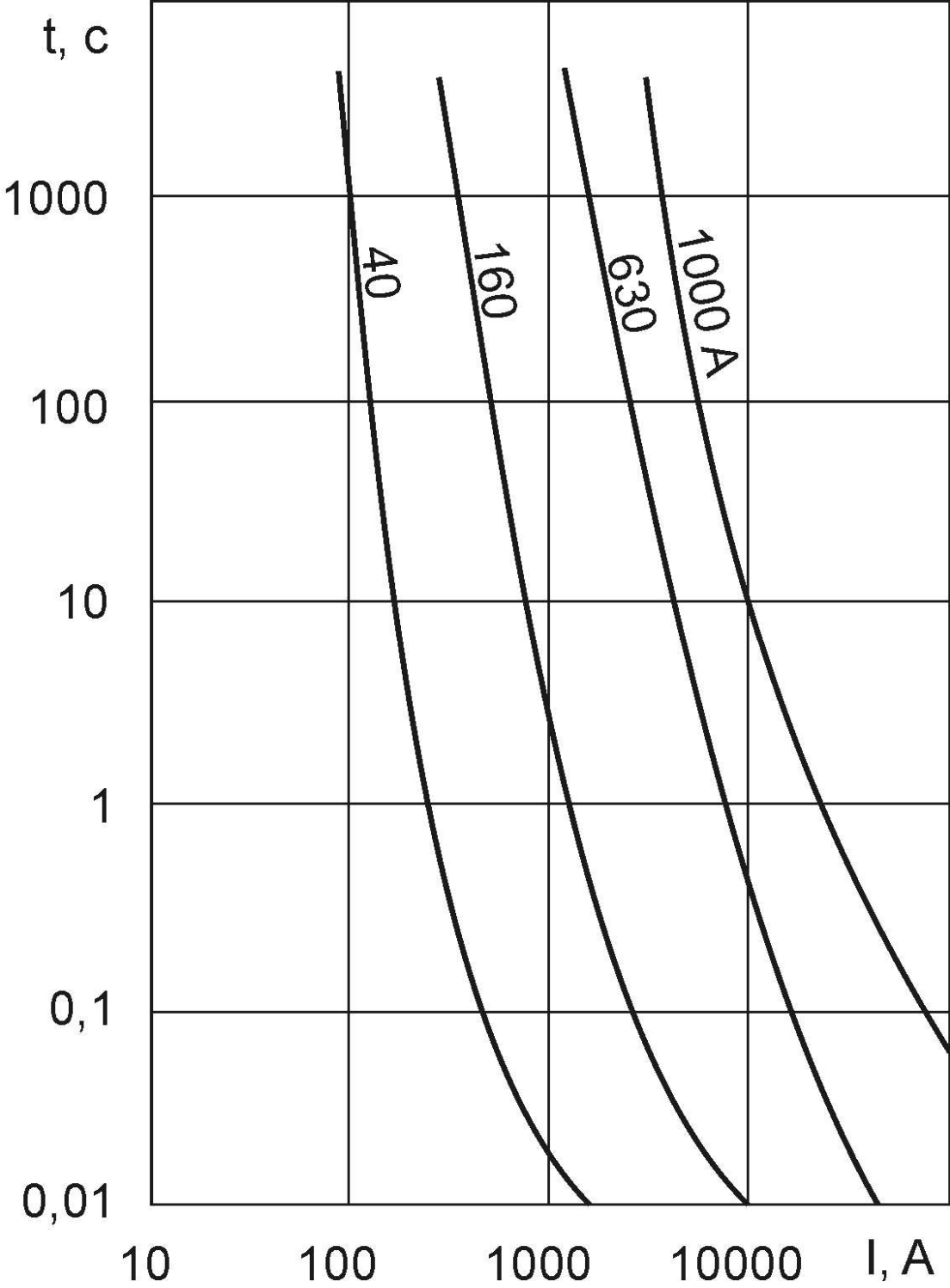


Рис. 3. Защитная характеристика предохранителя ПП-31

100

В зависимости от положения переключателя:

- выключатель имеет селективную отсечку с регулируемыми уставками по току (точки К, Л, М), причем для выключателей переменного тока при токе более $(2,2 \dots 3,0)I_{C.O}$ отсечка срабатывает без выдержки времени;
- выключатель имеет неселективную отсечку (штрихпунктирные линии) с регулировкой по току (точки Б, В, Г, Д).

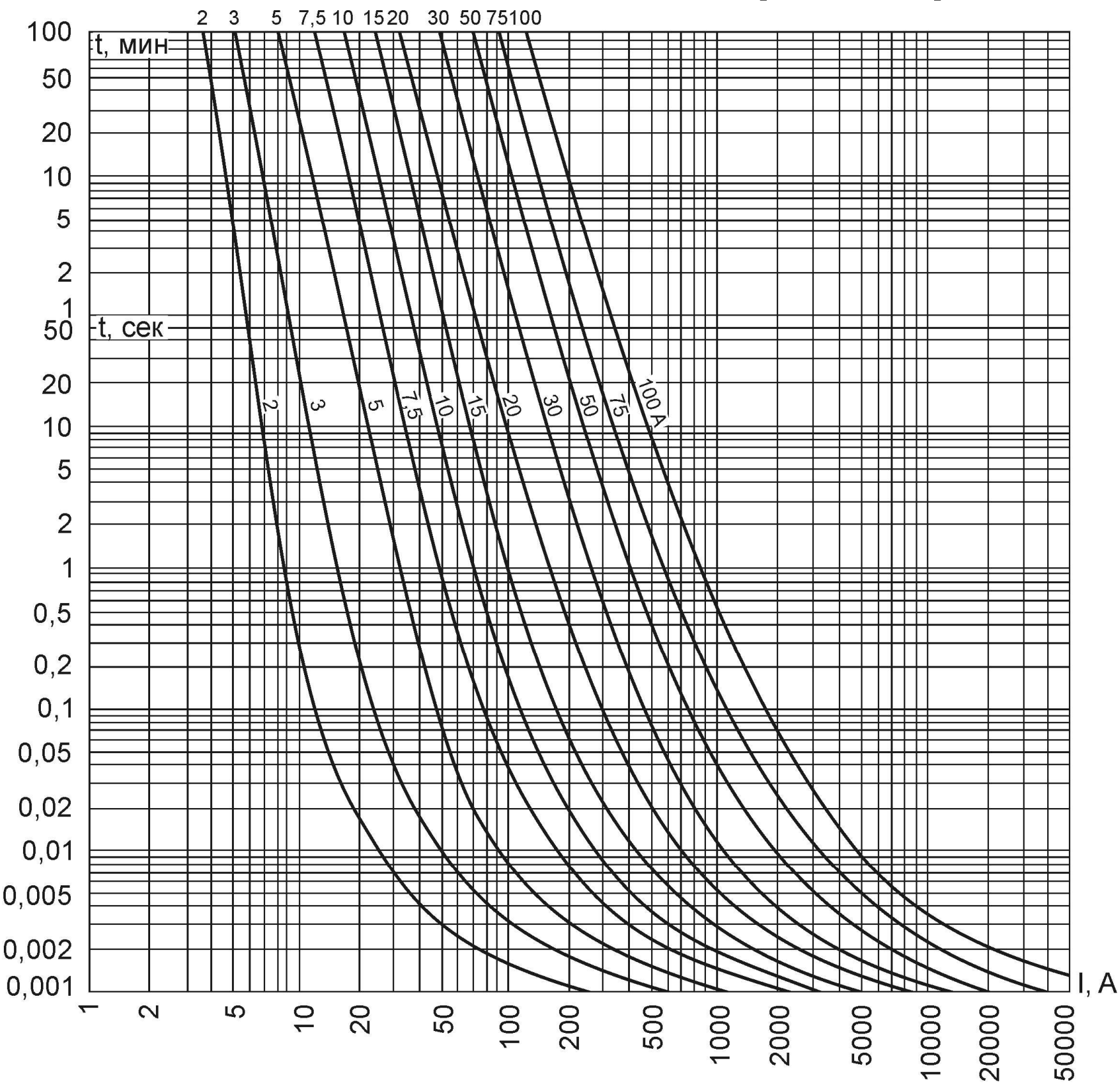


Рис. 5. Ампер-секундные характеристики плавких вставок предохранителей типа ПКТ с кварцевым заполнением

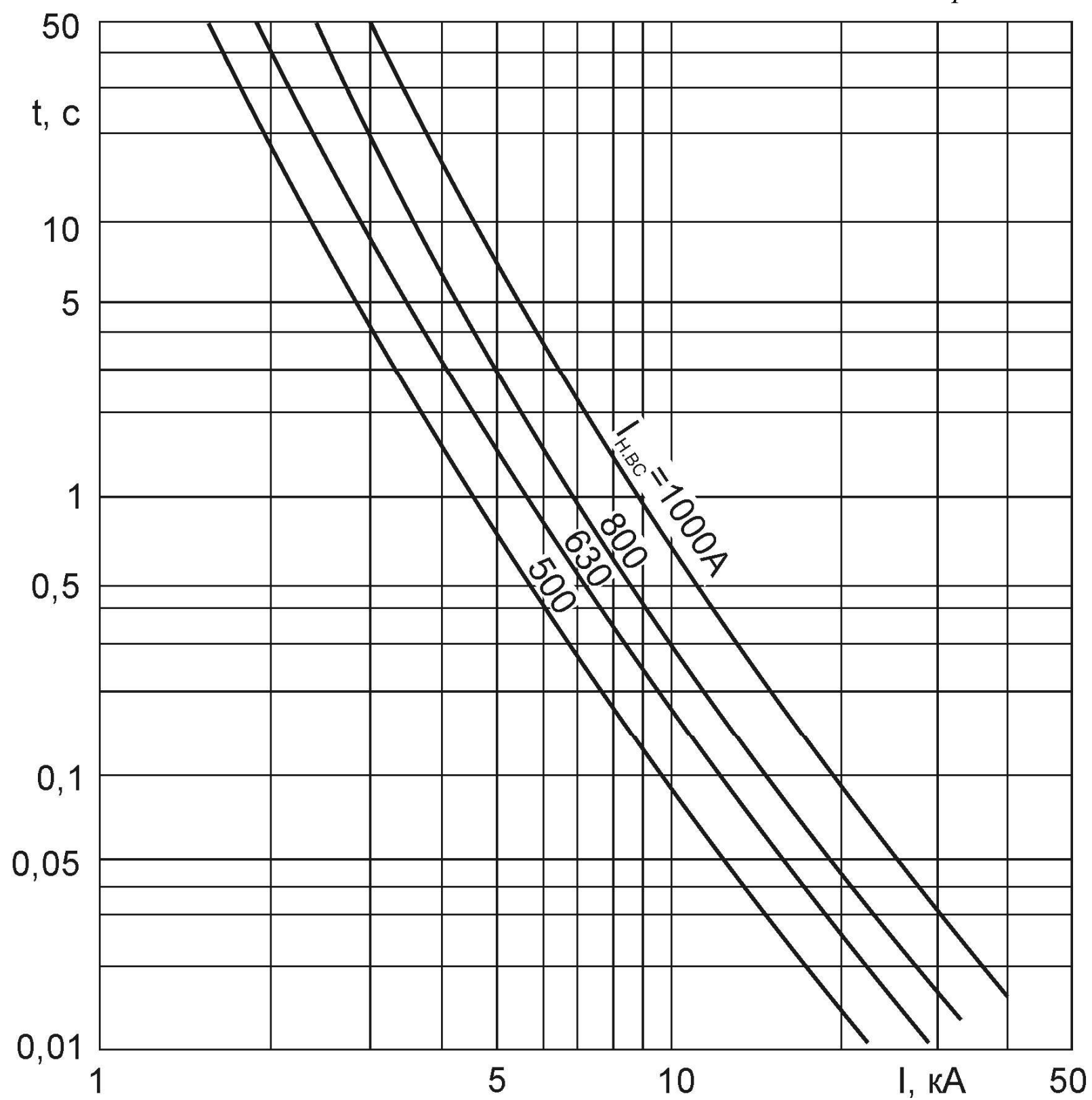


Рис. 6. Защитные характеристики предохранителей ПП17
в цепи переменного тока