СПРАВОЧНИК
по проектированию электрических сетей и электрооборудования

Под редакцией
Ю. Г. БАРЫБИНА, Л. Е. ФЕДОРОВА,
М. Г. ЗИМЕНКОВА, А. Г. СМИРНОВА

МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1991

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Под общей редакцией
Ю. Н. ТИЩЕНКО, Н. С. Мовсесова, Ю. Г. БАРЫБИНА

МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1991

ББК 31.279
С 74
УДК 621.311.1(035.5)

Рецензент В. Г. Шестериков

Составители:
П. И. Анастасиев, М. Д. Бершицкий, Б. Н. Буре, Г. А. Карвовский, С. А. Клюев, В. Б. Куинджи, Д. С. Лившиц, Ф. Д. Новогрудский, Н. М. Паранский, А. Г. Пентельков, Н. И. Петров, Г. П. Смидович, А. В. Тимофеев, Ю. А. Фролов, В. Т. Шилин, С. А. Халезов, Н. М. Шадрин, М. Н. Яловецкий

Справочник по проектированию электрических
С 74 сетей и электрооборудования / Под ред. Ю. Г. Барыбина и др.— М: Энергоатомиздат, 1991.— 464 с.: ил.— (Электроустановки промышленных предприятий / Под общ. ред. Ю. Н. Тищенко и др.)

ISBN 5-283-01118-6

Содержатся справочные данные для комплексного проектирования электрических сетей и электрооборудования электроустановок промышленных предприятий. Приведены технические решения по применению оборудования, новые конструктивные решения по канализации электроэнергии с применением токопроводов 6—10 кВ, пакетных шинопроводов до 1 кВ, кабелей 110, 220 кВ с пластмассовой изоляцией. Даны рекомендации по использованию программируемых контроллеров для управления.

Для инженерно-технических работников.

С $\frac{2202090000\text{-}082}{051(01)\text{-}91}$ 116-90 ББК 31.279

Справочное издание

СПРАВОЧНИК ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Редактор В. А. Суслов
Редактор издательства Л. В. Копейкина
Художественный редактор В. А. Гозак-Хозак
Технические редакторы О. Д. Кузиецова, В. В. Хапаева
Корректор М. Г. Гулина

ИБ № 2322

Сдано в набор 22.02.90. Подписано в печать 07.02.91. Формат $70\times100^{1}/_{16}$. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,7. Усл. кр.-отт. 75,4. Уч.-изд. л. 47,03. Тираж 40 000 экз. Заказ № 557. Цена 4 р.

Энергоатомиздат. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького при Госкомпечати СССР. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15

ISBN 5-283-01118-6

© Авторы, 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Требования научно-технического прогресса диктуют необходимость совершенствования промышленной электроэнергетики: создания экономичных надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, развития электрических сетей и электрооборудования, автоматизированного электропривода и систем управления.

Серия справочников «Электроустановки промышленных предприятий» использует практические рекомендации и указания, подготовленные большим коллективом специалистов электротехнических научно-исследовательских и проектных институтов, монтажных трестов и наладочных управлений НПО «Электромонтаж» Министерства монтажных и специальных строительных работ СССР, обобщивших теоретические исследования, передовой опыт ведущих в промышленной электроэнергетике организаций страны, достижения отечественной и зарубежной науки и техники.

Серия включает: «Справочник по проектированию электроснабжения», «Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования», «Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления», «Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий» в двух книгах и «Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий».

Настоящий «Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования» содержит материалы и справочные данные для комплексного проектирования электрических сетей и электрооборудования электроустановок промышленных предприятий, отражает прогрессивные технические решения по модернизации, основанные на применении оборудования до 1 кВ, новые конструктивные решения по передаче и распределению электроэнергии с применением токопроводов 10 (6) кВ, пакетных шинопроводов до 1 кВ, кабелей 110, 220 кВ с пластмассовой изоляцией, рекомендации по использованию для управления программируемых контроллеров.

Издательство и составители Справочника обращаются с просьбой к читателям присылать свои замечания и предложения по содержанию книги по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Авторы

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ВНЕЦЕХОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

А. ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

1.1. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ

Проектирование воздушных линий электропередачи (ВЛ) должно выполняться в соответствии с действующими ПУЭ, строительными нормами и правилами (СНиП), а также указаниями и рекомендациями инструкций, руководящих указаний, действующих директивных документов, относящихся к проектированию, сооружению и эксплуатации ВЛ. При проектировании ВЛ следует ориентироваться на утвержденную схему развития энергосистемы или электросетей данного промышленного района на ближайшие 5 лет с учетом перспективы на 10 лет. При проектировании ВЛ 10(6) кВ такую перспективу допускается не учитывать. Проектная документация на ВЛ в зависимости от напряжения и сложности может выполняться в одну стадию — рабочий проект или в две стадии — проект и рабочая документация (рабочие чертежи). При этом проектирование ВЛ напряжением до 35 кВ следует выполнять, как правило, в одну стадию.

При одностадийном проектировании должны выполняться и согласовываться с заказчиком проекта и строительно-монтажной организацией основные положения рабочего проекта.

Трасса ВЛ должна быть по возможности кратчайшей, соответствовать схеме развития электросетей данного района и учитывать материалы районной планировки. Выбор трассы следует производить на основе технико-экономических сравнений возможных вариантов, намечаемых при предварительных изысканиях на стадии проекта или при разработке утверждаемых материалов рабочего проекта.

При проектировании ВЛ необходимо ориентироваться на стандартные материалы, унифицированные и типовые конструкции. Применение нестандартных (индивидуальных) конструкций допускается как исключение при соответствующем технико-экономическом обосновании только на ВЛ, располагаемых в особых условиях, в том числе в сложных условиях действующих и реконструируемых промышленных предприятий. Проектная документация ВЛ напряжением 35 кВ и выше должна включать, как правило, техническую документацию по линейно-эксплуатационной связи, разработанную на основании технических условий энергосистемы или другой энергоснабжающей организации. Вид связи (проводная, высокочастотная) принимается по согласованию с организацией, которой в дальнейшем предстоит эксплуатировать ВЛ.

При наличии в зоне влияния ВЛ линий связи в проектную документацию следует включать результаты расчета опасного и мешающего влияний проектируемой ВЛ на эти линии. Кроме того, проектная документация должна содержать соответствующие защитные мероприятия, обеспечивающие нормальную эксплуатацию сооружений связи.

В проект (или утверждаемую часть рабочего проекта) ВЛ следует включать также раздел по организации строительства, в котором устанавливаются продолжительность строительства, объемы работ и методы их производства, потребность в материально-технических ресурсах и рабочих кадрах.

Рабочий проект должен содержать основные положения по эксплуатации данной ВЛ.

Расчетная часть проектной документации и составление смет должны выполняться, как правило, с применением ЭВМ.

В сметной документации следует предусматривать затраты на восстановление изымаемых земель под опоры, компенсацию землепользователям, а для ВЛ напряжением выше 35 кВ — дополнительно средства на проведение авторского надзора.

1.2. ПРОВОДА И ТРОСЫ

Основные сведения. На ВЛ 6—220 кВ промышленных предприятий следует применять неизолированные многопроволочные провода и тросы, отвечающие требованиям соответствующих ГОСТ и технических условий.

Диаметр проводов, их сечение и материал определяются электрическим расчетом сети, ее параметрами, а также конкретными условиями расположения ВЛ (населенная или ненаселенная местность, наличие пересечений с сооружениями, районы СССР по гололеду и ветру, длины пролетов между опорами, степень насыщенности среды агрессивными фракциями).

Для ВЛ 110 кВ и выше полученный в результате расчета диаметр провода должен быть проверен по условиям потерь на корону. Однако при этом минимальный диаметр проводов должен быть не менее 11,4 мм (АС70/11) для ВЛ 110 кВ, 15,2 мм (АС120/19) для ВЛ 150 кВ, 21,6 мм (АС240/39) для ВЛ 220 кВ.

В качестве грозозащитных тросов на ВЛ 35 кВ и выше используются в основном стальные многопроволочные канаты номинальным сечением 35—70 мм^2. При больших значениях однофазного тока КЗ в качестве грозозащитных тросов используются сталеалюминиевые провода.

Сечение грозозащитного троса выбирается по механическому расчету. На участках ВЛ, где отсутствует изолированное крепление троса, последний должен быть проверен на термическую стойкость при однофазном КЗ на концевых опорах ВЛ, а также на смежных с ними опорах. Проверка грозозащитного троса на термическую стойкость проводится только для ВЛ 110 кВ и выше. Предварительная проверка термической стойкости грозозащитного троса выполняется исходя из максимального тока однополюсного КЗ на шинах РУ тех объектов, к которым присоединяется ВЛ, и полного времени отключения основной защиты. По значениям тока КЗ $I_к$ и времени отключения t по табл. 1.1 проверяется сечение троса.

При этом, если $I_к$ меньше допустимого, при данном значении дальнейшие расчеты не производятся. При $I_к$, большем допустимого, следует выполнять расчет распределения тока КЗ в грозозащитном тросе и дальнейшую проверку его сечения на термическую стойкость согласно «Методическим указаниям по расчету термической стойкости грозозащитных тросов ВЛ электропередачи» Энергосетьпроекта.

Стальные тросы, подвешиваемые на опорах ВЛ (независимо от степени агрессивности окружающей среды), во избежание преждевременной коррозии должны быть оцинкованы.

Материал и область применения проводов и тросов. На ВЛ 6—220 кВ могут применяться алюминиевые провода марок А и АКП (ГОСТ 839—80Е), сталеалюминиевые марок АС,

Таблица 1.1. **Допустимые значения токов КЗ для грозозащитных тросов**

Марка троса, провода	$I_{доп}$, кА, при t, с							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1
ТК-50	11,2	9,2	7,9	6,5	5	4,2	3,7	3,6
ТК-70	16,8	13,7	11,8	9,7	7,5	6,3	5,6	5,3
АС95/16	32,8	26,8	23,1	18,9	14,6	12,4	10,9	10,3
АС120/19	40,4	33	29,5	23,3	18	15,3	13,5	12,8
АС150/24	50,9	41,8	36	29,4	22,8	19,3	17	16,1

Таблица 1.2. **Минимально допустимые сечения проводов ВЛ**

Характеристика ВЛ	Номинальное сечение, мм^2, провода марки		
	А, АКП, АН	АС, АСК, АСКС, АСКП	ПС
ВЛ без пересечений в районах с толщиной стенки гололеда:			
до 10 мм	35	25	25
15 мм и более	50	35	25
Пролеты пересечения с судоходными реками и каналами при толщине стенки гололеда:			
до 10 мм	70	25	25
15 мм и более	70	35	25
Пересечение с железными дорогами, надземными трубопроводами и канатными дорогами при любой толщине стенки гололеда	70	35	Не допускается
Пересечение с линиями связи	70	35	25
Прочие инженерные сооружения и естественные препятствия	То же, что и на ВЛ без пересечений		

Примечание. При пересечении надземных трубопроводов, предназначенных для транспортировки негорючих жидкостей и газов, допускается применение стальных многопроволочных проводов сечением 25 мм^2 и более.

Таблица 1.3. **Наибольшие допускаемые промежуточные пролеты, м**

Марка провода	Толщина стенки гололеда, мм			Марка провода	Толщина стенки гололеда, мм		
	до 10	15	20		до 10	15	20
А35	140	—	—	АЖ35	280	175	120
А50	160	90	60	АЖ50	350	220	140
А70	190	115	75	АЖ70	430	270	180
А95	215	135	90	АЖ95	500	330	230
А120	270	150	110	АЖ120	550	370	260
А150	335	165	130	АЖ150	605	400	290
АН35	210	115	75	АС25/4,2	230	—	—
АН50	265	155	100	АС35/6,2	320	200	140
АН70	320	195	130	АС50/8	360	240	160
АН95	380	235	160	АС70/11	430	290	200
АН120	435	270	185	АС95/16	525	410	300
АН150	490	290	205	АС120/19	660	475	350

АСК, АСКС и АСКП (ГОСТ 839—80Е), стальные марки ПС (ТУ 14—4—661—75) и провода из алюминиевого сплава марок АН и АЖ (ГОСТ 839—80Е).

Минимально допустимые сечения проводов в зависимости от характерных особенностей трассы ВЛ приведены в табл. 1.2, а наибольшие допускаемые промежуточные пролеты, обусловленные механической прочностью ряда проводов небольших сечений,— в табл. 1.3.

В зависимости от конкретных условий расположения ВЛ (или отдельных ее участков), напряжения линии, конструктивных данных провода (троса), его физико-механических характеристик, наличия защиты нейтральной смазкой повышенной термостойкости межпроволочного пространства алюминиевого провода (провода марки АКП, АЖКП, АНКП) или стального сердечника сталеалюминиевого провода (провода марок АСК, АСКС, АСКП), отношения алюминиевой части сталеалюминиевого провода к стальной его части (А:С) и в дополнение к табл. 1.2 рекомендуются следующие области применения проводов и тросов:

1) проводов марок А и АН сечением 35—120 мм^2 и выше — для ВЛ 6—10 кВ и ВЛ 20—35 кВ;

2) проводов марки АЖ сечением 25 мм^2 и выше — в соответствии с областью применения сталеалюминиевых проводов марки АС эквивалентных сечений и физико-механических характеристик;

3) проводов марки АС сечением до 185 мм^2 включительно при А:С = 6,0 ÷ 6,25 и сечением 240 мм^2 и выше при А:С = 7,71 ÷ ÷ 8,04 — для ВЛ 35—220 кВ при толщине стенки гололеда до 20 мм включительно, а также для ВЛ 6—20 кВ (сечением до 120 мм^2), где по условиям обеспечения повышенной механической прочности не могут быть использованы провода марок А и АН эквивалентных сечений;

4) проводов марки АС сечением до 95 мм^2 включительно при А:С = 6, сечением 120—400 мм^2 при А:С = 4,29 ÷ 4,39 и сечением 450 мм^2 и выше при А:С = 7,71 ÷ 8,04 — для ВЛ 35—220 кВ при толщине стенки гололеда более 20 мм (в этих же условиях провода сечением до 95 мм^2 — для ВЛ 6—20 кВ, где это необходимо по условиям обеспечения повышенной механической прочности взамен проводов марок А и АН);

5) провод марок АКП, АНКП, АЖКП, АСК, АСКС и АСКП согласно области применения проводов марок А, АН (провода марки АКП и АНКП) и АС, АЖ (провода марок АСК, АСКС, АЖКП, АСКП) — для ВЛ 6—220 кВ в районах, где ожидаются интенсивная коррозия и разрушение сталеалюминиевых и алюминиевых проводов под воздействием агрессивных фракций в окружающей среде (районы с повышенным содержанием сернистого газа, хлористых солей, берега морей, соленых озер, районы с засоленными песками и т. п.);

6) провод марки ПС — для ВЛ 6—20 кВ для электроснабжения периферийных объектов промышленных предприятий при малой протяженности линий (1,5—2 км), где соответствующими технико-экономическими расчетами установлена целесообразность применения этих проводов. Использование проводов марки ПС при наличии агрессивных фракций в окружающей среде не допускается;

7) в качестве грозозащитных тросов используются стальные многожильные оцинкованные канаты ЛК-0-8 по ГОСТ 3062—80 * для ВЛ 35 кВ и типа ТК-9,1 и ТК-11 по ГОСТ 3063—80 * для ВЛ 110—220 кВ.

Предел механической прочности проволок

Таблица 1.4. **Основные конструктивные данные проводов (ГОСТ 839—80*Е)**

Номинальное сечение, мм^2	Расчетное сечение, мм^2	Число проволок токоведущей части и их диаметр, мм	Диаметр провода, мм	Масса провода, кг/км	Строительная длина, м (не менее)
Алюминиевые провода марки А и АКП					
35	34,3	7×2,5	7,5	94	4000
50	49,5	7×3	9	135	3500
70	69,2	7×3,55	10,7	189	2500
95	92,4	7×4,1	12,3	252	2000
120	117	19×2,8	14	321	1500
Провода из алюминиевого сплава марок АЖ, АЖКП, АН, АНКП					
16	15,9	7×1,7	5,1	43	4500
25	24,9	7×2,13	6,4	68	4000
35	34,3	7×2,5	7,5	94	4000
50	49,5	7×3	9	135	3500
120	117	19×2,8	14	321	1500
150	148	19×3,15	15,8	406	1250
185	182,3	19×3,5	17,5	502	1000
Сталеалюминиевые провода марок АС, АСК, АСКС, АСКП					
16/2,7	16,1/2,69	6×1,85	5,6	64,9	3000
25/4,2	24,9/4,15	6×2,3	6,9	100,3	3000
35/6,2	36,9/6,155	6×2,8	8,4	148	3000
50/8	48,2/8,04	6×3,2	9,6	195	3000
70/11	68,0/11,3	6×3,8	11,4	276	2000
70/72	68,4/72,2	18×2,2	15,4	755	2000
95/16	95,4/15,9	6×4,5	13,5	385	1500
95/141	91,2/141	24×2,2	19,8	1357	1500
120/19	118,0/18,8	26×2,4	15,2	471	2000
120/27	114,0/26,6	30×2,2	15,4	528	2000
150/24	149,0/24,2	26×2,7	17,1	599	2000
150/34	147,0/34,3	30×2,5	17,5	675	2000
185/29	181,0/29	26×2,98	18,8	728	2000
185/128	187/128	54×2,1	23,1	1525	2000
205/27	205/26,6	24×3,3	19,8	774	2000
240/32	244/31,7	24×3,6	21,6	921	2000
240/56	241/56,3	30×3,2	22,4	1106	2000
300/48	295/47,8	26×3,8	24,1	1186	2000
300/67	288,5/67,3	30×3,5	24,5	1323	2000
300/204	298,0/204	54×2,65	29,2	2428	2000
400/22	394,0/22	76×2,57	26,6	1261	1500
400/51	394,0/51,1	54×3,05	27,5	1490	1500
400/93	406,0/93,2	30×4,15	29,1	1851	1500
450/56	434,0/56,3	54×3,2	28,8	1640	1500
500/27	481,0/26,6	76×2,84	29,4	1537	1500
500/64	490,0/63,5	54×3,4	30,6	1852	1500
500/204	496,0/204	90×2,65	34,5	2979	1500

Примечание. Для проводов марок АЖКП, АНКП, АСК, АСКП И АСКС масса указана без учета массы нейтральной теплостойкой смазки.

Таблица 1.5. **Конструктивные данные стальных спиральных канатов для грозозащитных тросов**

Условное обозначение, ГОСТ	Расчетное сечение, мм^2	Число проволок и их диаметр, мм	Диаметр каната, мм	Масса, кг/км
С35 (ЛК-О-8), ГОСТ 3062—80*	38,01	1×2,8+6×2,6	8,0	331
С50 (ТК-9,1), ГОСТ 3063—80*	48,64	1×1,9+18×1,8	9,1	418
С70 (ТК-11), ГОСТ 3063—80*	72,58	1×2,3+18×2,2	11,0	623

Примечание. Строительная длина каната определяется при заказе.

Таблица 1.6. **Расход проводов на 1 км трехфазной линии электропередачи**

Номинальное сечение, мм	Масса провода, кг	Номинальное сечение, мм	Масса провода, кг
Провода марок А, АКП, АН и АЖ		150/19	1710
		150/24	1860
		150/34	2090
35	300	185/24	2180
50	430	185/43	2620
70	600	205/27	2400
95	810	240/32	2840
120	1010	240/39	2940
Провода марок АН и АЖ		240/56	3420
		300/39	3500
		300/48	3680
150	1280	300/66	4060
185	1580	330/27	3420
240	2070	330/43	3880
300	2570	400/22	3900
350	3000	400/51	4600
400	3420	400/64	4860
450	3830	400/93	5720
500	4320	450/56	5070
Провода марок АС и АСК		500/27	4750
		500/64	5730
16/2,7	210	**Провода марки ПС**	
25/4,2	310		
35/6,2	460	25	610
50/8,0	600	35	850
70/11	850	50	1210
95/16	1190	70	1920
120/19	1460	95	2350
120/27	1630		

троса (каната) в целом должен составлять не менее 1200 МПа на ВЛ, располагаемых в районах, где ожидается разрушение стальных канатов по условиям коррозии или термической стойкости (при соответствующих технико-экономических обоснованиях), а также на особо ответственных пересечениях ВЛ с инженерными сооружениями и естественными препятствиями или при использовании грозозащитного троса сталеалюминиевого провода по ГОСТ 839—80Е.

Конструктивные данные проводов и тросов приведены в табл. 1.4 и 1.5. Расход проводов различных марок на 1 км ВЛ, включая отходы, приведен в табл. 1.6, данные которой используются для составления спецификаций, смет и расчетов за выполненные работы.

1.3. ИЗОЛЯЦИЯ И АРМАТУРА

Тип и материал изоляторов (стекло или фарфор) выбирают в зависимости от напряжения и конструктивных параметров ВЛ с учетом климатических условий и степени загрязнения атмосферы проводящими осадками. На ВЛ 6—20 кВ следует применять штыревые изоляторы (рис. 1.1). Использование подвесных изоляторов на этих ВЛ допускается только для крепления проводов больших сечений (или при значительных усилиях от их тяжения) на опорах анкерного типа.

На ВЛ 35 кВ могут применяться как штыревые, так и подвесные (рис. 1.2) стеклянные или фарфоровые изоляторы. Предпочтение следует отдавать подвесным изоляторам, особенно в промышленных районах и при условиях, изложенных ниже для ВЛ 110—220 кВ.

На ВЛ 110—220 кВ должны применяться исключительно подвесные изоляторы. При этом на ВЛ, расположенных в особо трудных для эксплуатации условиях (в горах, на болотах и т. п.), а также на ВЛ, питающих тяговые подстанции, и на больших переходах следует применять стеклянные изоляторы.

Основные технические характеристики наиболее распространенных типов линейных изоляторов приведены в табл. 1.7.

Крепление проводов к подвесным изоляторам производится при помощи поддерживающих или натяжных зажимов. Подвесные изоляторы комплектуются в гирлянды с помощью линейной сцепной арматуры производства треста «Электросетьизоляция» Минэнерго СССР. Число изоляторов в гирлянде следует вычислять исходя из значения удельной длины пути утечки гирлянды (не менее 1,3 см на 1 кВ действующего значения наибольшего рабочего напряжения). К полученному таким образом числу изоляторов добавляется один запасной.

Определение числа и типа изоляторов в гирляндах при расположении ВЛ 35—220 кВ в районах, где изоляция подвержена загрязнению проводящими осадками, следует производить в соответствии с «Инструкцией по проектированию изоляции в районах с чистой и загрязненной атмосферой» (Инструкция И34—70—009—83 Минэнерго СССР).

Инструкция определяет степень загрязненности атмосферы (СЗА) в зоне действия различных источников загрязнений, в том числе и промышленных (химические и металлургические производства, горные разработки и т. п.). При этом количество изоляторов в гирляндах ВЛ на металлических и железобетонных опорах определяется по формуле

$$m = L/L_и, \qquad (1.1)$$

где $L_и$ — геометрическая длина пути утечки изолятора, см; L — геометрическая длина пути утечки гирлянды изоляторов или штыревого изолятора, см:

$$L = \lambda U K_и,$$

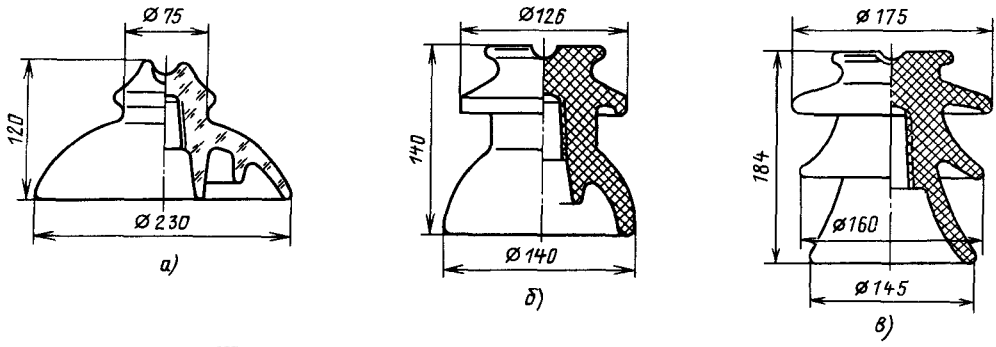


Рис. 1.1. Штыревые изоляторы:
а — типа ШС10-В; *б* — типа ШФ10-Г; *в* — типа ШФ20-В

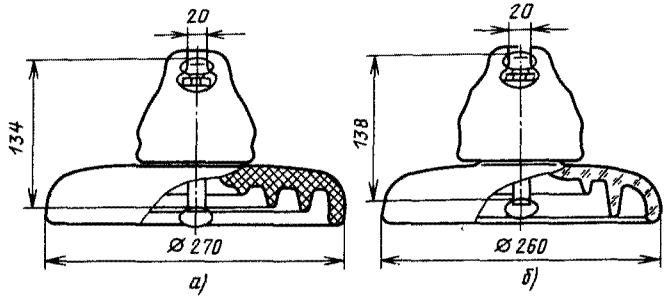


Рис. 1.2. Подвесные изоляторы:
а — типа ПФ70-В; *б* — типа ПС120-А

Таблица 1.7. **Осиовные технические характеристики линейиых изоляторов высокого напряжения**

Тип изолятора	Нормированная разрушающая нагрузка, Н, не менее	Длина пути утечки, мм, не менее	Напряженне, кВ, не менее		Масса, кг, не более
			пробнвное в изоляцнонной среде	выдерживаемое под дождем	
Штыревые изоляторы					
ШФ10-Г	12 450	265	130	35	1,9
ШС10-А	13 729	210	100	30	1,4
ШС10-В	13 729	315	120	40	3
ШФ20-В	12 750	385	130	55	3,7
ШФ35-Б	15 680	700	200	85	12,7
Подвесиые изоляторы					
ПФ70-В	68 600	355	130	32	5
ПФ160-А	156 800	385	135	40	9
ПС70-Б	58 800	295	130	38	4,1
ПС70-В	58 800	300	130	42	4,1
ПС120-А	123 600	325	120	45	5,7
ПС160-Б	166 600	390	130	35	8
ПС210-Б	205 800	375	130	42	10,8
ПС170-А	58 800	400	130	40	5,3
ПСГ120-А	117 720	425	130	48	7,3

Примечание. Для штыревых изоляторов указана нормированная разрушающая нагрузка при изгибе.

где λ — нормированная удельная эффективная длина пути утечки, см/кВ; U — наибольшее рабочее междуфазное напряжение, кВ; $K_и$ — коэффициент эффективности использования длины пути утечки изоляционной конструкции:

$$K_и = kk_к;$$

здесь k — коэффициент эффективности длины пути утечки одиночного изолятора; $k_к$ — коэффициент эффективности использования длины пути утечки одноцепной или двухцепной гирлянды изоляторов, принимаемый соответственно 1 или 1,05.

Значения коэффициента k для наиболее часто применяемых в сетях 6—220 кВ изоляторов приведены ниже:

Тип изолятора	Коэффициент
ШС10-А, ШС10-Г, ШФ10-Г . . .	1
ПС70-Б, ПС210-Б, ШФ20-В . . .	1,1
ПС120-Д, ПС160-Б	1,15
ПФ70-В, ПСГ70-А, ПС300-Б . . .	1,20
ПФГ70-Б, ПСГ120-А	1,25

Штыревые изоляторы следует закреплять на стандартных металлических штырях по ГОСТ 18381—80 (ВЛ 6—20 кВ) или крюках по ТУ 36—877—77 (ВЛ 6—10 кВ). Штыри на траверсах закрепляют с помощью специальных конструкций (верхушек) по ТУ 36—877—77. Выбор штырей и крюков в зависимости от типа изолятора и конструкции траверсы или стойки опоры должен производиться согласно табл. 1.8.

Закрепление проводов на штыревых изоляторах выполняется проволочными вязками или специальными зажимами согласно действующим инструкциям и указаниям по монтажу проводов.

Таблица 1.9. **Коэффициенты запаса прочности изоляторов, линейной арматуры, крюков и штырей**

Наименование	Коэффициенты запаса прочности, не менее		
	Нормальный режим	Аварийный режим	Среднеэксплуатационный режим
Изоляторы	2,7	1,8	5
Линейная арматура	2,5	1,7	—
Штыри, крюки	2,0	1,3	—

На ВЛ 35—220 кВ при пересечении с железными дорогами общего пользования, автодорогами с твердым покрытием, судоходными реками и каналами рекомендуется применение двухцепных гирлянд изоляторов.

Крепление грозозащитных тросов на промежуточных опорах разрешается только в глухих зажимах, а на анкерно-угловых — в натяжных клиновых зажимах.

Выбор изоляторов, линейной арматуры, крюков и штырей должен производиться с учетом коэффициента запаса прочности, определяемого по формуле

$$n = \frac{F}{T}, \qquad (1.2)$$

где F — механическая нагрузка, разрушающая штыревые изоляторы, или электромеханическая разрушающая нагрузка подвесных изоляторов, или минимальная разрушающая на-

Таблица 1.8. **Применение штырей и крюков на ВЛ 6—20 кВ**

Типы штырей (Ш, ШУ, ШВ) и крюков (КВ)	Материал стойки (траверсы) и тип опоры	Типы изоляторов
Ш-22	Стальные траверсы и накладки промежуточных опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г, ШФ20-В
ШУ-21	Стальные накладки опор всех типов	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г
ШУ-22-1, ШУ-22-2	Стальные накладки и стальные траверсы анкерно-угловых и концевых опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г, ШФ20-В
Ш-22Д-1, Ш-22Д-2	Деревянные траверсы промежуточных опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г
ШУ-21Д, ШУ-22Д-1, ШУ-22Д-2	Деревянные траверсы всех типов опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г
ШВ-22-1, ШВ-22-3	Деревянные стойки промежуточных опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г
ШВ-22-2, ШВ-22-4	Деревянные стойки анкерно-угловых и концевых опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г
КВ-22, КВ-25, КВ-28 (всех модификаций)	Деревянные стойки промежуточных опор	ШС10-А, ШС10-В, ШФ10-Г

Примечание. На штырях типов Ш-22Д-2, ШУ-22Д-1, ШВ-22-3 и ШВ-22-4 допускается установка изоляторов типа ШФ20-В.

грузка линейной арматуры, крюков и штырей, Н; T — нормативное тяжение по проводу, Н.

Коэффициенты запаса прочности должны быть не менее приведенных в табл. 1.9.

1.4. ОПОРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

На ВЛ следует использовать, как правило, унифицированные и типовые конструкции.

На ВЛ могут применяться железобетонные (рис. 1.3, *а, б*), стальные (рис. 1.3, *в, г*) и деревянные опоры, а также железобетонные фундаменты или сваи.

В целях сокращения габаритной зоны ВЛ в стесненных условиях промышленных районов и предприятий рекомендуется ориентироваться на одностоечные железобетонные (ВЛ 6—220 кВ), деревянные (ВЛ 6—10 кВ) и металлические (ВЛ 35—220 кВ) опоры.

В целях повышения технологичности строительства ВЛ и обеспечения условий комплектации строительными деталями в проекте ВЛ необходимо применять минимальное количество типов опор. При этом следует стремиться к применению опор одной унифицированной серии. Рекомендуются следующие области применения железобетонных, металлических (стальных) и деревянных опор на территориях промышленных районов и предприятий:

1) железобетонные опоры с предварительно напряженной арматурой — на ВЛ 6—10 кВ в качестве промежуточных и анкерно-угловых опор, на ВЛ 35—220 кВ — в качестве промежуточных опор; анкерно-угловые опоры с оттяжками могут применяться только на одноцепных ВЛ 35—220 кВ в местах, где по условиям генплана предприятия или промышленного района это оказывается допустимым. Не допускается применять железобетонные опоры на горных линиях, при сильно пересеченном профиле по трассе, где невозможна доставка железобетонных стволов, а также на участках с болотами глубиной более 1 м.

Железобетонные опоры всех модификаций рекомендуется применять также в районах с повышенной влажностью воздуха при среднегодовых температурах 5 °С и выше;

2) металлические (стальные) опоры — на ВЛ 35—220 кВ, где не допускается применение железобетонных опор или недопустимо применение деревянных опор по условиям генплана, а также в тех случаях, когда использование древесины для изготовления опор не дает существенного сокращения затрат при строительстве ВЛ. Использование стальных опор в качестве анкерно-угловых рекомендуется на всех ВЛ 35—220 кВ, расположенных в стесненных условиях городской застройки, промышленных предприятий и на ценных сельскохозяйственных землях, а также в качестве специальных опор (переходные, ответвительные и т. п.).

Предпочтение применению стальных опор перед железобетонными следует отдавать также при сооружении ВЛ в горной или иной труднодоступной для транспорта местности, а также на ВЛ 35—220 кВ при расстоянии более 1000 км от специализированных заводов железобетонных конструкций до железнодо-

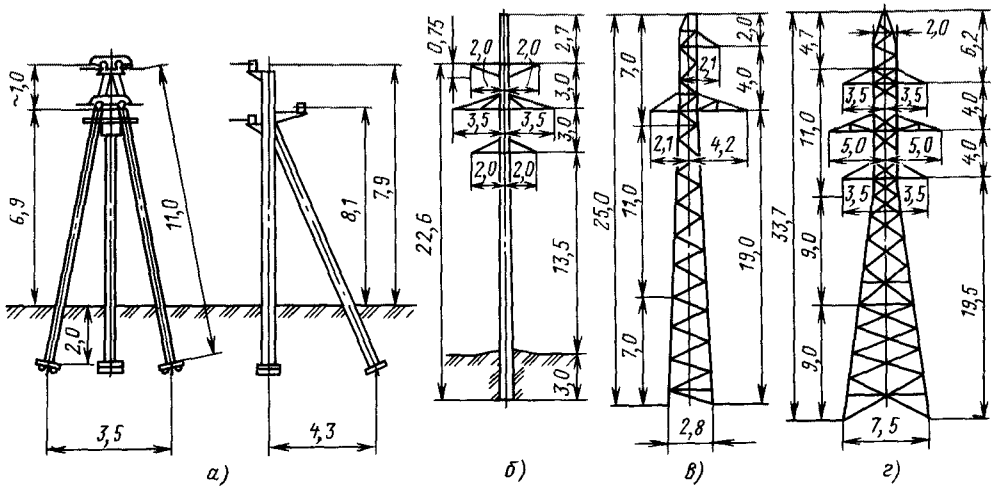


Рис. 1.3. Опоры ВЛ 6—110 кВ:

а — железобетонная одноцепная угловая 10 (6) кВ типа УА10-1Б; *б* — железобетонная двухцепная промежуточная 110 кВ типа ПБ 110-2; *в* — стальная одноцепная промежуточная 110 кВ типа П 110-3; *г* — стальная двухцепная анкерно-угловая с подставкой 110 кВ типа У110-2+9

Таблица 1.10. **Основные характеристики унифицированных стальных и железобетонных опор ВЛ 6—220 кВ**

Номинальное напряжение, кВ	Шифр опоры	Марка провода	Нормативная толщина стенки гололеда, мм	Расход материалов	
				Масса стали, кг	Объем железобетона, $м^3$
10(6)	Пб-1	А25—А120, АС16/2,7—АС60/8	5—10	2	0,13
	Пб-8	А50—А120, АС25/4,2—АС50/8	15—20	2	—
	Аб-1	А35—А95, АС25/4,2—АС50/8	5—15	35,1	0,29
	УАб-1	А35—А95, АС25/4,2—АС50/8	5—15	68,7	0,44
	П10-1Б	А25—А120, АС16/2,7—АС50/8	5—15	15,65	0,45
	УА10-1Б	АС25—АС120, АС16/2,7—АС50/8	5—15	59,8	1,35
35	П35-1	АС70/11—АС150/24	5—20	1558	—
	П35-2	АС70/11—АС150/24	15—20	1934	—
	У35-3+5	АС70/11—АС95/16	5—20	2385	—
	У35-1+5	АС120/19—АС150/24	5—20	4727	—
	У35-4+5	АС70/11—АС95/16	5—20	3986	—
	У35-2+5	АС120/19—АС150/24	5—20	6850	—
110	П110-3	АС120/19—АС240/32	5—10	2558	—
	П110-5	АС70/11—АС240/32	15—20	2686	—
	П110-7	АС120/19—АС240/32	5—10	2820	—
	П110-4	АС120/19—АС240/32	5—10	3336	—
	П110-6	АС70/11—АС240/32	15—20	3942	—
110—150	У110-1+9	АС70/11—АС240/32	5—20	8544	—
	У110-2+9	АС70/11—АС240/32	5—20	11 834	—
150	П150-1	АС120/19—АС240/32	5—20	2720	—
	П150-2	АС120/19—АС240/32	5—20	4009	—
220	П220-3	АС300/39—АС400/51	5—20	4881	—
	П220-1	АС300/39—АС400/51	5—20	3812	—
	П220-2	АС300/39—АС400/51	5—20	6450	—
	У220-1+9	АС300/39—АС400/51	5—20	13 078	—
	У220-2+9	АС300/39—АС400/51	5—20	20 245	—
35	ПБ35-1	АС95/16—АС150/24	5—20	122	1,67
	ПБ35-3	АС95/16—АС150/24	15—20	118	1,67
	ПБ35-2	АС95/16—АС150/24	5—10	299	1,81
	ПБ35-4	АС95/16—АС150/24	15—20	299	1,67
	УБ35-1	АС95/16—АС150/24	5—20	270	2,1
110	ПБ110-1	АС70/11—АС150/24	5—10	216	1,67
	ПБ110-5	АС70/11—АС240/32	15—20	255	1,81

Продолжение табл. 1.10

Номинальное напряжение, кВ	Шифр опоры	Марка провода	Нормативная толщина стенки гололеда, мм	Расход материалов	
				Масса стали, кг	Объем железобетона, м³
110—150	ПБ110-2	АС70/11—АС120/49	5—10	522	1,81
	УБ110-1	АС70/11—АС120/49	5—20	1586	2,1
	ПБ110-6	АС70/11—АС240/32	15—20	522	1,67
	ПБ150-2	АС70/11—АС240/32	5—20	596	2,52
220	ПБ220-1	АС300/39—АС400/51	5—20	452	2,52
	ПС220-1	АС300/39—АС400/51	5—20	421	3,62
	УБ220-3	АС300/39—АС400/51	5—20	1807	2,56

Примечание. Диапазоны длин пролетов соответствуют разным сечениям проводов и толщинам стенки гололеда.

рожного пункта, откуда начинается перевозка железобетонных опор местными транспортными средствами;

3) деревянные опоры, пропитанные антисептическим составом в заводских условиях (из цельных стоек или составные с железобетонными или деревянными приставками),— преимущественно на ВЛ 10 (6) кВ, а также на одноцепных ВЛ 35—220 кВ в районах, где применение древесины обеспечивает существенное сокращение затрат и где геометрические схемы деревянных опор удовлетворяют условиям генплана промышленного района или предприятия (районы, где может быть налажена заготовка лиственницы); на ВЛ 35—220 кВ для электроснабжения периферийных объектов промышленных предприятий (насосных станций, сырьевых и производственных баз, вспомогательных хозяйств и т. п.).

Применение деревянных опор для ВЛ напряжением 6 кВ и выше целесообразно также в районах с малой влажностью воздуха и среднегодовой температурой не выше 0—5 °С.

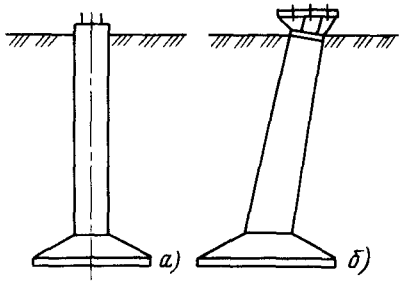


Рис. 1.4. Железобетонные фундаменты под металлические опоры:
а — с вертикальной стойкой (промежуточные и анкерно-угловые опоры); *б* — с наклонной стойкой (анкерно-угловые опоры).

Выбор тех или иных типов опор производится сопоставлением конкретных условий в районе расположения проектируемой ВЛ с техническими характеристиками опор (табл. 1.10).

Все унифицированные и типовые опоры ВЛ 6—220 кВ рассчитаны по условиям I—IV гололедных районов СССР. При этом стальные и железобетонные опоры ВЛ 35—220 кВ предназначены для применения в III и V ветровых районах СССР (по классификации действующих ПУЭ), а деревянные опоры ВЛ 35—110 кВ и железобетонные опоры ВЛ 6—20 кВ — в I—V ветровых районах. Деревянные опоры ВЛ 6—20 кВ рассчитаны по условиям I—IV ветровых районов СССР.

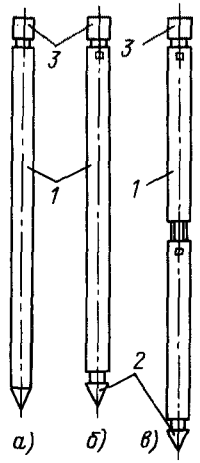


Рис. 1.5. Железобетонные сваи:
а — квадратного сечения; *б* — цилиндрические из одного звена; *в* — цилиндрические из двух звеньев (Ц—1—1/2+1/3+К); *1* — тело сваи; *2* — наконечник; *3* — оголовник

В качестве оснований под металлические опоры используют железобетонные грибовидные фундаменты или сваи различных модификаций (рис. 1.4 и 1.5). Основанием железобетонных опор служит подземная часть стойки, усиленная при необходимости ригелем; железобетонные опоры могут также устанавливаться на свайные осиования.

Вибрированиые сваи квадратного сечения могут примеияться при необходимости также иа ВЛ 6—20 кВ.

Все технические показатели опориых конструкций (масса, геометрические размеры, расчетные даниые и т. д.) приведены в действующих проектах типовых и унифицированиых опор ВЛ 0,4—20 кВ и опор ВЛ 35—220 кВ (разработки ВГПИ и НИИ Сельэнергопроект и Энергосетьпроект).

1.5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Электрический расчет линии 6—220 кВ включает: определение сечения проводов линии по условиям экономической плотности тока и нагрева; расчет допустимого отклонения напряжения; расчет линии на потерю напряжения.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Схема замещения линии в сетях 6—35 кВ состоит из последовательно соединеиных активного r и реактивного (иидуктивного) x сопротивлений (рис. 1.6, *а*); в сетях 110—220 кВ принимается П-образиая схема замещения, в которой дополнительно включены активная g и реактивная b проводимости (рис. 1.6, *б*).

Активное сопротивление проводов. Активное сопротивление алюминиевых и сталеалюминиевых проводов, Ом/км,

$$r_0=\rho/s, \tag{1.3}$$

или

$$r_0=\frac{1}{\gamma s}, \tag{1.4}$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление провода, Ом·мм^2/км; γ — удельная электрическая проводимость провода, км/(Ом·мм^2); s — номинальное сечение провода, мм^2.

Активное сопротивление линии, Ом,

$$r=r_0 l, \tag{1.5}$$

где l — длина линии, км.

Реактивное сопротивление проводов. Удельное реактивное сопротивление алюминиевых и сталеалюминиевых проводов, Ом/км,

$$x_0=145\cdot 10^{-3}\lg\frac{2D_{ср}}{d}+0{,}016, \tag{1.6}$$

где $D_{ср}=\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$ — среднее геометрическое расстояние между осями проводов (здесь 1, 2, 3 — фазы линии); d — диаметр провода.

Реактивное сопротивление линии, Ом,

$$x=x_0 l. \tag{1.7}$$

Значения активных и реактивных сопротивлений алюминиевых и сталеалюминиевых проводов приведены в табл. 1.11.

Потери на корону. В воздушных линиях потери активной мощности обусловливаются явлением короны и несовершенством изоляции проводов. Явление короны заключается в том, что при определенной напряженности электрического поля вокруг проводов возникает ионизация воздуха, связанная с потерями активной мощности. Напряжение, при котором возникают потери на корону, называется критическим напряжением короны. Критическое междуфазное напряжение короны, кВ,

$$U_{кр}=84{,}6m_0m_n\delta r\lg\frac{D}{r}, \tag{1.8}$$

где m_0 — коэффициент, учитывающий состояние поверхности провода: для однопроволочных проводов $m_0=0{,}93\div 0{,}98$, для многопроволочных проводов $m_0=0{,}83\div 0{,}87$; m_n — коэффициент, учитывающий погодные условия; при сухой и ясной погоде $m_n=1$, при плохой погоде (дождь, туман, гололед) $m_n=0{,}8$; $\delta=\frac{3{,}92b}{273+\vartheta}$ — коэффициент относительной плотности воздуха, учитывающий барометрическое давление b, Па, и температуру воздуха ϑ, °С; r — радиус провода, см; D — расстояние между осями проводов, см.

Значения коэффициента относительной плотности воздуха δ в зависимости от высоты местности иад уровнем моря приведены в табл. 1.12.

Потери на корону в трех фазах, кВт/км,

$$\Delta P_к=\frac{0{,}18}{\delta}\sqrt{\frac{r}{D}}(U-U_{кр})^2. \tag{1.9}$$

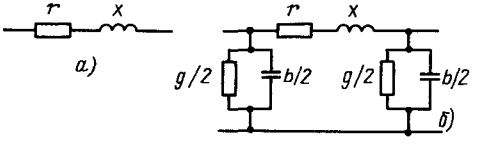


Рис. 1.6. Схемы замещения:
а — линий 6—35 кВ; *б* — линий 110—220 кВ

Таблица 1.11. **Активное и реактивное сопротивления алюминиевых и сталеалюминиевых проводов**

Марка провода	Активное сопротивление, Ом/км	Реактивное сопротивление, Ом/км, при средием геометрическом расстоянии между проводами, мм				
		1000	2000	3000	4000	5000
Алюминиевые провода						
А35	0,92	0,37	0,41	—	—	—
А50	0,64	0,36	0,4	0,42	0,44	—
А70	0,46	0,35	0,39	0,41	0,43	—
А95	0,34	0,33	0,38	0,4	0,42	—
А120	0,21	0,31	0,36	0,39	0,4	0,42
А185	0,17	0,31	0,35	0,38	0,39	0,41
А240	0,13	0,3	0,34	0,37	0,39	0,4
А300	0,11	0,29	0,34	0,36	0,37	0,39
А400	0,08	0,28	0,33	0,35	0,36	0,38
А500	0,06	0,28	0,32	0,35	0,36	0,37
А600	0,05	0,27	0,31	0,34	0,36	0,37
Сталеалюминиевые провода						
АС16	2,06	0,33	0,43	—	—	—
АС25	1,38	0,38	0,41	0,43	—	—
АС35	0,9	0,37	0,4	0,43	0,44	—
АС50	0,65	0,35	0,39	0,42	0,43	—
АС70	0,46	0,34	0,38	0,41	0,42	0,44
АС95	0,33	0,33	0,37	0,4	0,41	0,43
АС120	0,27	0,32	0,36	0,39	0,4	0,42
АС150	0,21	—	0,35	0,38	0,4	0,41
АС185	0,17	—	—	0,37	0,39	0,41
АС240	0,13	—	—	0,36	0,38	0,4
АС300	0,11	—	—	0,35	0,37	0,39

Примечание. Активное и реактивное сопротивления ВЛ, выполненные из различных модификаций проводов марки А (АКП) и АС (АСКС, АСКП и АСК), практически не отличаются от данных таблицы.

Таблица 1.12. **Коэффициент относительной плотности воздуха (при температуре воздуха $\vartheta = 25$ °С)**

Высота местности над уровнем моря, м	Коэффициент относительной плотности воздуха δ	Высота местности над уровнем моря, м	Коэффициеит относительной плотности воздуха δ
0	1,0	1600	0,83
200	0,98	1800	0,81
400	0,96	2000	0,79
600	0,93	2200	0,78
800	0,91	2400	0,76
1000	0,89	2600	0,74
1200	0,87	2800	0,73
1400	0,85	3000	0,71

Как следует из (1.9), потери на корону возникают, когда критическое напряжение короны $U_{кр}$ меньше напряжения линии U. Явление короны помимо потерь энергии в линии вызывает коррозию проводов, а также приводит к ухудшению работы элементов проводной связи и высокочастотных установок. В воздушных линиях напряжением до 35 кВ включительно явление короны вообще не возникает. Сечения проводов линий 110—220 кВ, выбранных по экономической плотности тока и потере напряжения, обусловливают и минимальные потери в них на корону. Вследствие этого в практических расчетах сетей 110—220 кВ активные проводимости линий не учитываются.

Реактивная проводимость проводов. Удельная емкость трехфазной воздушной линии, Ф/км,

$$C_0 = \frac{0{,}024}{\lg \frac{2D_{ср}}{d}} 10^{-6}. \quad (1.10)$$

При известной удельной емкости реактивные проводимости (удельная и общая) определяются по формулам, 1/(Ом·км), 1/Ом,

$$b_0 = \omega C_0 = \frac{7{,}58}{\lg \frac{2D_{ср}}{d}} 10^{-6}; \quad (1.11)$$

$$b = b_0 l. \quad (1.12)$$

Значения реактивной проводимости воздушных линий приведены в табл. 1.13.

Емкость проводов обусловливает в линии емкостный ток, А/км,

$$I_{b_0} = U_ф b_0 = \frac{U}{\sqrt{3}} \frac{7{,}58}{\lg \frac{2D_{ср}}{d}} 10^{-6}. \quad (1.13)$$

Реактивная мощность, обусловленная емкостью линии, Мвар,

$$Q_{b_0} = \sqrt{3}\, U I_{b_0} = \sqrt{3}\, U \frac{U}{\sqrt{3}} b_0 = U^2 b_0. \quad (1.14)$$

Выбор проводников по экономической плотности тока. Для реальных расчетов рекомендуется пользоваться следующей формулой для определения экономического сечения проводников S, мм^2:

$$S = \frac{I}{I_{эк}}, \quad (1.15)$$

где I — расчетный ток в час максимума энергосистемы, А; $I_{эк}$ — нормированное значение экономической плотности тока, А/мм^2, для заданных условий работы выбираемой по табл. 1.14.

Таблица 1.13. **Реактивная проводимость воздушных линий, 10^{-6}·1/(Ом·км)**

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Марка провода				
	АС120	АС150	АС185	АС240	АС300
3000	2,92	2,97	3,03	3,1	3,17
4000	2,79	2,85	2,9	2,96	3
5000	2,69	2,79	2,82	2,85	2,89

Примечание. Реактивные проводимости ВЛ, выполненных из модификаций проводов АС (АС, КС, АСКП и АСК), практически не отличаются от данных табл. 1.13.

Таблица 1.14. **Экономическая плотность тока**

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм^2, при числе использования максимума нагрузки в год		
	1000—3000	3000—5000	Более 5000
Медные	2,5	2,1	1,8
Алюминиевые	1,3	1,1	1

Таблица 1.15. **Допустимый длительный ток для неизолированных проводов по ГОСТ 839—80*Е**

Номинальное сечение, мм^2	Сечение алюминий / сталь, мм^2	Ток, А, для проводов марок	
		АС, АСКС, АСК, АСКП	А и АКП
10	10/1,8	84	—
16	16/2,7	111	105
25	25/4,2	142	136
35	35/2,6	175	170
50	50/8	210	215
70	70/11	265	265
95	95/16	330	320
120	120/19	390	375
	120/27	375	
150	150/19	450	440
	150/24	450	
	150/34	450	
185	185/24	520	500
	185/29	510	
	185/43	516	
240	240/32	605	590
	240/39	610	
	240/56	610	
300	300/39	710	680
	300/48	690	
	300/66	680	

Сечение, полученное в результате расчета, округляется до ближайшего стандартного. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т. е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается.

Выбор проводников по условиям нагрева. Допустимые длительные токи для неизолированных проводов приведены в табл. 1.15. Они приняты из расчета допустимой температуры их нагрева 70 °С при температуре воздуха 25 °С.

Расчет допустимого отклоиения напряжения в сети производится по формуле

$$\Delta U_д = E - (U_д + U_т), \qquad (1.16)$$

где $\Delta U_д$ — суммарное значение допустимой потери напряжения в линиях от центра питания (ЦП) до расчетной точки; E — выходиое напряжение ЦП; $U_д$ — допустимое напряжение на зажимах электроприемиика, установлеиное ПУЭ для различных режимов работы сети; $U_т$ — алгебраическая сумма добавок и потерь напряжения в траисформаторах на участке от ЦП до расчетной точки.

В (1.16) известными величинами являются E, $U_д$ и $U_т$, искомой — $\Delta U_д$. Последним этапом расчета сети иа отклоиение иапряжения является распределение потерь напряжения между линиями, связывающими ЦП с электроприемиками.

Определеиие потери напряжеиия в линиях. Расчет линий 6—35 кВ. На рис. 1.7 приведены схемы линий и соответствующая диаграмма напряжений. На диаграмме: $\underline{U}_{\phi 2}$ — вектор фазного напряжения в конце лииии; $\underline{I}$ — вектор заданного тока нагрузки, отстающий на угол φ_2 от вектора $\underline{U}_{\phi 2}$; $I_r = ab$ — активиое падение напряжения в линии; $I_x = bc$ — реактивное падение напряжения в линии; $\underline{U}_{\phi 1} = Oc$ — вектор искомого фазиого напряжеиия в начале линии; φ_1 — угол между вектором тока $\underline{I}$ и вектором напряжеиия $\underline{U}_{\phi 1}$; θ — угол расхождеиия векторов иапряжеиий в начале и конце линии; $\cos\varphi_1$ — коэффициент мощности в начале линии; $\underline{U}_{\phi 1} - \underline{U}_{\phi 2}$ — падеиие иапряжеиия в лииии (геометрическая разиость векторов напряжеиий в начале и конце линии); $U_{\phi 1} - U_{\phi 2} = ab$ — потеря напряжеиия в линии (алгебраическая разность значений напряжений в начале и конце линии); $ad = \Delta U_\phi$ — продольиая составляющая падеиия напряжения; $cd = \delta U_\phi$ — поперечная составляющая падения напряжения.

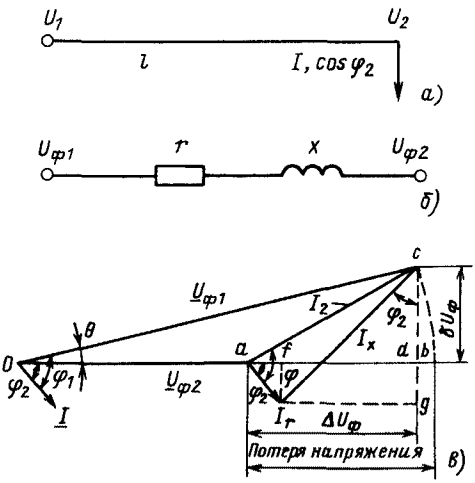


Рис. 1.7. Схемы и векториая диаграмма линий 6—35 кВ с нагрузкой иа конце:
а — схема линий; *б* — схема замещения для одной фазы; *в* — векторная диаграмма

Напряжение в начале линии

$$\underline{U}_{\phi 1} = \sqrt{(Oa + ad)^2 + cd^2} = \sqrt{(U_{\phi 2} + \Delta U_\phi)^2 + \delta U_\phi^2}, \qquad (1.17)$$

где $\Delta U_\phi = ad = af + fd = Ir\cos\varphi_2 + Ix\sin\varphi_2 = I_a r + I_r x$; $\delta U_\phi = cd = gc - dg = Ix\cos\varphi - Ir\sin\varphi = I_a x - I_r r$.

Падение напряжения в линии

$$\underline{Iz} = ac = \sqrt{\Delta U_\phi^2 + \delta U_\phi^2}. \qquad (1.18)$$

Потеря напряжения в лииии

$$ab = U_{\phi 1} - U_{\phi 2}. \qquad (1.19)$$

В расчетах линий 6—35 кВ вместо действительной потери напряжения (отрезок ab иа векториой диаграмме) принимают зиачение продольной составляющей падения напряжения (отрезок ad); при этом погрешиость составляет 0,2—0,3 % номииального напряжения сети.

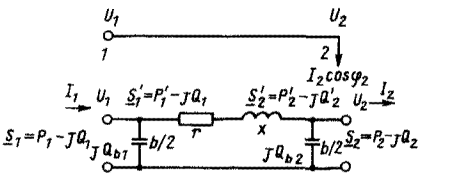


Рис. 1.8. Схема замещеиия линий 110—220 кВ

Перейдя к линейиым иапряжениям, получим

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \sqrt{3}\, I\,(r\cos\varphi + x\sin\varphi). \qquad (1.20)$$

При использовании в расчете передаваемых мощностей

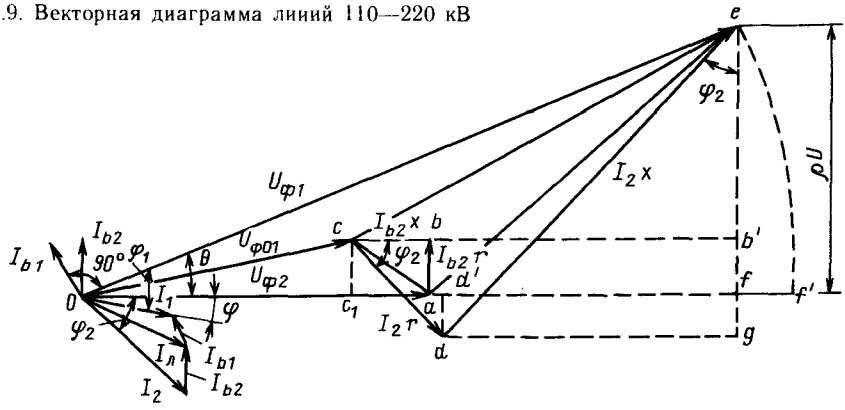
$$\Delta U = \frac{Pr + Qx}{U_{ном}}. \qquad (1.21)$$

Потери иапряжения в процентах иомиального напряжения

$$\Delta U\,\% = \frac{\Delta U}{U_{ном}} 100 = \frac{Pr + Qx}{U_{ном}^2} 100. \qquad (1.22)$$

Расчет лиий 110—220 кВ. Для расчета принимается П-образная схема замещений

Рис. 1.9. Векторная диаграмма линий 110—220 кВ



(рис. 1.8). Векторная диаграмма фазных напряжений и токов для принятой схемы приведена на рис. 1.9.

На диаграмме: $\underline{U}_{\phi 2}$ — вектор фазного напряжения в конце линии, совмещенный с осью действительных величин; $\underline{I}_2$ — вектор тока в конце линии, отложенный под углом φ_2 к вектору $\underline{U}_{\phi 2}$; $\underline{I}_{b2}$ — вектор емкостного тока в конце линии; $\underline{I}_л$ — вектор тока, протекающего по линии через сопротивление r и x.

Для определения падения напряжения в сопротивлениях r и x, обусловленного током $\underline{I}_л$, находят падение напряжения в этих сопротивлениях при холостом ходе линии от тока $\underline{I}_{b2}$, а затем к полученному результату геометрически прибавляют падение напряжения в этих сопротивлениях от тока нагрузки $\underline{I}_2$. Треугольник abc — треугольник падения напряжения в сопротивлениях r и x от тока $\underline{I}_{b2}$; $\underline{U}_{\phi 01}$ — вектор напряжения в начале линии при холостом ходе; треугольник cde — треугольник падения напряжения в сопротивлениях r и x от тока нагрузки $\underline{I}_2$; $\underline{U}_{\phi 1}$ — вектор напряжения в начале линии при нагрузке; ae — вектор полного падения напряжения от тока $\underline{I}_л$ в сопротивлениях r и x; $\Delta U = af$ — продольная составляющая падения напряжения; $\delta U = ef$ — поперечная составляющая падения напряжения: af' — потеря напряжения в линии; $\underline{I}_{b1} = \underline{U}_{\phi 1} \frac{b}{2}$ — вектор емкостного тока в начале линии: $\underline{I}_1$ — вектор тока в начале линии; θ — угол сдвига между векторами напряжений в начале и конце линии.

Из векторной диаграммы видно, что емкостный ток $\underline{I}_{b2}$ уменьшает продольную составляющую падения напряжения на ac_1 и увеличивает поперечную составляющую на величину fb'. Следствием этого является уменьшение потери напряжения в линии и увеличение угла сдвига θ между векторами напряжений в начале и конце линии. Из диаграммы также следует, что емкостный ток линии, компенсируя индуктивную составляющую тока нагрузки, уменьшает полный ток в начале линии.

Напряжение в начале линии

$$\underline{U} = U_2 + \Delta U + j\delta U_1 \qquad (1.23)$$

или при выражении нагрузок через мощности

$$\underline{U}_1 = U_2 + \frac{P_2 r + \left(Q_2 - \frac{Q_b}{2}\right)x}{U_2} + j\frac{P_2 x - \left(Q_2 - \frac{Q_b}{2}\right)r}{U_2}. \qquad (1.24)$$

Ниже приводится расчет линии 110—220 кВ для случая, когда известны напряжения в начале линии U_1 и мощность в конце ее S_2. Полная мощность потребителя с учетом потерь в трансформаторе, МВ·А,

$$\underline{S}_2 = (P_2 - jQ_2), \qquad (1.25)$$

где $P_2 = S_2 \cos\varphi$ — активная мощность, МВт; $Q = S_2 \sin\varphi$ — реактивная мощность, Мвар. Реактивная зарядная мощность, обусловленная емкостью линии, отнесенная к концу линии, Мвар,

$$\frac{\Delta Q_b}{2} = U^2_{\text{ном}} \frac{b}{2}. \qquad (1.26)$$

Полная мощность в конце линии в комплексной форме, МВ·А,

$$\underline{S}'_2 = P'_2 - jQ'_2 = \underline{S}_2 + j\frac{\Delta Q_b}{2} = (P_2 - jQ_2) + j\frac{\Delta Q_b}{2}. \qquad (1.27)$$

Потери активной мощности в линии, МВт,

$$\Delta P_{л}=\frac{(P'_2)^2+(Q'_2)^2}{U^2_{ном}}r \qquad (1\ 28)$$

Потери реактивной мощности в линии, Мвар

$$\Delta Q_{л}=\frac{(P'_2)^2+(Q'_2)^2}{U^2_{ном}}x \qquad (1\ 29)$$

Мощность в начале линии, МВ·А,

$$\underline{S}'_1=P'_1-jQ'_1=\underline{S}'_2+(\Delta P_{л}-j\Delta Q_{л})=$$

$$=(P'_2+jQ_2)+(\Delta P_{л}-j\Delta Q_{л}) \qquad (1\ 30)$$

Мощность на шинах питающей подстанции, МВ·А,

$$\underline{S}_1=P_1-jQ_1=\underline{S}'_1+j\frac{\Delta Q_b}{2}=$$

$$=(P'_1-jQ'_1)+j\frac{\Delta Q_b}{2} \qquad (1\ 31)$$

Напряжение в конце линии в комплексной форме, кВ,

$$\underline{U}_2=U_1-\frac{P_1r+Q_1x}{U_1}-j\frac{P_1x-Q_1r}{U_1}, \qquad (1\ 32)$$

$$U_1-\frac{P_1r+Q_1x}{U_1}=U_{2a}, \qquad (1\ 33)$$

$$j-\frac{P_1x-Q_1r}{U_1}=jU_{2r} \qquad (1\ 34)$$

Напряжение в конце линии, кВ,

$$U_2=\sqrt{U^2_{2a}+U^2_{2r}} \qquad (1\ 35)$$

1.6. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Механический расчет проводов и тросов в нормальном режиме (при необорванных проводах и тросах) следует проводить для следующих условий наибольшей внешней нагрузки, низшей температуры при отсутствии внешних нагрузок, среднегодовой температуры при отсутствии внешних нагрузок

Максимально допустимые механические напряжения в проводах и тросах при этих условиях приведены в табл 1 16

Для расчета проводов и тросов ВЛ 35—220 кВ на механическую прочность следует, как правило, использовать ЭВМ (программы для инженерных расчетов *HSPVL*), в основу разработки которых положена приведенная здесь методика расчета Этой методикой рекомендуется пользоваться при выполнении механических расчетов ВЛ 3—20 кВ, а также единичных расчетов ВЛ 35—220 кВ при невозможности использования ЭВМ

Расчеты рекомендуется выполнять в такой последовательности определение исходных данных, определение нормативных приведенных нагрузок, действующих на провода (в дальнейшем все сказанное о проводах, если это не оговорено особо, относится также и к тросам), определение напряжений и стрел провеса проводов при различных расчетных режимах, составление сводных таблиц и кривых (в том числе монтажных) по результатам расчета

Исходные данные и величины. 1 Марка и сечение провода, определяемые электрическим расчетом сети и конкретными условиями расположения ВЛ (характер местности и химическое состояние атмосферы, гололедные и ветровые нагрузки и т п)

2 Марка и сечение троса

3 Расчетные климатические условия

4 Конструктивные данные и физико механические характеристики проводов и тросов

5 Нормируемые величины (запас механической прочности проводов и тросов, допускаемые нагрузки на изоляторы и арматуру с учетом нормируемых коэффициентов запаса, минимально допустимые расстояния от проводов ВЛ до земли и сооружений, а также между проводом и тросом ВЛ в середине пролета и т п)

Расчетные климатические условия. Для механической части ВЛ принимаются расчетные сочетания климатических условий, приведенные в табл 1 17

При этом нормативные значения гололедно изморозевых отложений на проводах и скоростных напоров ветра определяются исходя из их повторяемости 1 раз в 5 лет (для ВЛ напряжением 3 кВ и ниже) и 1 раз в 10 лет (для ВЛ напряжением 6—220 кВ)

Данные о гололеде, ветре и температуре воздуха, полученные на местных метеостанциях или в линейных службах энергосистем (энергохозяйств), занимающихся эксплуатацией ВЛ, используются при проектировании для определения расчетных климатических условий При этом в основу принимаются соответствующие рекомендации ПУЭ, относящиеся к гололеду и ветру

Действующие ПУЭ различают пять рай

Таблица 1.16. **Максимально допустимые механические напряжения в проводах и тросах**

Марка и сечение провода или троса	Допустимые напряжения, МПа	
	при наибольшей нагрузке и при низшей температуре $\sigma_г$, σ_-	при среднегодовой температуре $\sigma_э$
А, АКП сечением, мм^2:		
35	56(60)	48(51)
50 и 70	64(68)	48(51)
95	60(64)	45(48)
120 и более	72(76)	48(51)
АС, АСКС, АСКП, АСК (в зависимости от отношения алюминиевой части провода к стальной А : С) сечением, мм^2:		
16 и 25	102(105)	87(90)
35—95 при А : С = 6 и 6,13	116(120)	87(90)
70 при А : С = 0,95	268(272)	201(204)
95 при А : С = 0,65	304(308)	228(231)
120 и более при А : С = 6,11 ÷ 6,25	130(135)	87(90)
120 и более при А : С = 4,29 ÷ 4,39	149(153)	99(102)
150 и более при А : С = 7,71 ÷ 8,04	122(126)	81(84)
185, 300 и 500 при А : С = 1,46	250(252)	165(168)
330 при А : С = 12,22	108(117)	72(78)
400 и 500 при А : С = 17,93 и 18,09	97(104)	65(69)
АН, АНКП сечением, мм^2:		
16—95	83	62
120 и более	94	62
АЖ, АЖКП сечением, мм^2:		
16—95	83	62
120 и более	94	62
АЖ, АЖКП сечением, мм^2:		
16—95	114	85
120 и более	114	85
ПС всех сечений	310	215
Канаты (тросы) ТК всех сечений	В зависимости от разрывного усилия $\sigma_п = 1177$ МПа	

Примечание. Для проводов марок А, АКП, АС, АСКС, АСКП в скобках приведены значения напряжения для алюминиевой проволоки АТп, без скобок — для проволоки АТ.

онов СССР по гололеду (табл. 1.18) и семь районов по ветру (табл. 1.19).

Нормативные значения районов по гололеду и ветру должны корректироваться с учетом особенностей условий трассы (или отдельных ее участков) и конструктивных параметров линии.

Нормативную нагрузку по гололеду $P_{норм}$ на 1 м длины, Н/м, для проводов и тросов следует определять с учетом диаметра проводов и тросов d и высоты их расположения над поверхностью земли $h_{пр}$ по формуле

$$P_{норм} = g\pi bk(d + bk)\gamma_0 \cdot 10^3, \qquad (1.36)$$

где b — толщина стенки гололеда, принимаемая по табл. 1.18, с учетом поправочных коэффициентов на d и $h_{пр}$, мм; d — диаметр провода или троса, мм; $\gamma_0 = 0{,}9$ г/см^3 — плотность гололеда; $g = 9{,}81$ м/с^2 — ускорение свободного падения тела; k — поправочный коэффициент на толщину стенки гололеда, принимаемый как произведение коэффициентов k_1 и k_2; промежуточные значения коэффициента k определяются линейной интерполяцией с округлением до целого числа:

$h_{пр}$, м	k_1	d, мм	k_2
25	1,3	5	1,1
30	1,4	10	1,0
40	1,5	20	0,9
50	1,6	30	0,8
60	1,7	40	0,75
70	1,8	50	0,7

Условная величина $h_{пр}$ представляет собой высоту приведенного центра масс всех проводов или тросов над уровнем земли или над уровнем горизонта реки или водохранилища, м:

для нормальных пролетов ВЛ

$$h_{пр} = h_{ср} - \frac{2}{3} f_{max};$$

для больших переходов через водные пре-

Таблица 1.17. **Нормативные сочетания климатических условий для проектирования воздушных линий**

Режим работы ВЛ	Условие расчетов	Температура воздуха, °С	Скоростной напор ветра, Па	Скорость ветра, м/с	Толщина стенки гололеда, мм
Нормальный	Высшая температура воздуха	θ_{max}	0	0	0
	Низшая температура воздуха	θ_{min}	0	0	0
	Среднегодовая температура воздуха	$\theta_э$	0	0	0
	Наибольший скоростной напор ветра	−5	q_{max}	V_{max}	0
	То же при $\theta_э \leqslant -5$ °С	−10	q_{max}	V_{max}	0
	Провода и тросы покрыты гололедом	−5	$0{,}25q_{max}$, но $\leqslant 300$	$0{,}5V_{max}$, но $\leqslant 22$	b — по наблюдениям или картам районирования
	То же, $\theta_э \leqslant -5$ °С	−10	$0{,}25q_{max}$	$0{,}5V_{max}$	То же
	То же при $b \geqslant 15$ мм	−5	$0{,}25q_{max}$, но $\geqslant 140$ и $\leqslant 300$	$0{,}5V_{max}$, но $\geqslant 15$ и $\leqslant 22$	$\geqslant 15$
	То же при $\theta \leqslant -5$ °С и $b > 15$ мм	−10	$0{,}25q_{max}$, но $\geqslant 140$ и $\leqslant 300$	$0{,}5V_{max}$, но $\geqslant 15$ и $\leqslant 22$	15
	Приближения проводов к опорам и сооружениям:				
	при рабочем напряжении	−5	q_{max}	V_{max}	0
	при атмосферных и внутренних перенапряжениях	+15	0,1, но $\geqslant 62{,}5$	$9{,}3V_{max}$, но $\geqslant 10$	0
	для безопасного подъема на опору под напряжением	−15	0	0	0
Обрыв проводов или тросов	При среднегодовой температуре	$\theta_э$	0	0	0
	При проводах и тросах, покрытых гололедом	−5	0	0	b — до обрыва, 0 — после обрыва
	При низшей температуре	θ_{min}	0	0	0
Монтаж проводов и тросов	Условия монтажа	−15	62,5	10	0

пятствия, ущелья и т. п., состоящих из одного пролета,

$$h_{пр} = \frac{h_{ср1} + h_{ср2}}{2} - \frac{2}{3} f_{max};$$

для больших переходов, состоящих из нескольких пролетов,

$$h_{пр} = \frac{h_{пр1} l_1 + h_{пр2} l_2 + \ldots + h_{прn} l_n}{l_1 + l_2 + \ldots + l_n};$$

в этих формулах: $h_{ср}$ — средняя высота крепления проводов или тросов на опорах, отсчитываемая от отметки земли в месте установки опоры, м; $h_{ср1}$, $h_{ср2}$ — средние высоты крепления проводов или высота крепленяя тросов на опорах перехода, отсчитываемая от меженного уровня реки или горизонта водохранилища, м; $h_{пр1}$, $h_{пр2}$, $h_{прn}$ — высоты приведенных центров тяжести проводов и тросов, принимаемые как для $h_{ср1}$ и $h_{ср2}$, м (при наличии высокого, незатопляемого берега реки, на котором располагаются опоры перехода, высота отсчитывается от отметки земли в месте установки этих опор).

Таблица 1.18. **Нормативная толщина стенки гололеда, мм, для высоты 10 м над поверхностью земли**

Районы СССР по гололеду	Повторяемость	
	1 раз в 5 лет	1 раз в 10 лет
I	5	5
II	5	10
III	10	15
IV	15	20
Особый	20 и более	Более 22

Таблица 1.19. **Максимальные нормативные скоростные напоры ветра, Па, на высоте до 15 м от земли**

Районы СССР по ветру	Повторяемость	
	1 раз в 5 лет	1 раз в 10 лет
I	270(21)	400(25)
II	350(24)	400(25)
III	450(27)	500(29)
IV	550(30)	650(32)
V	700(33)	800(36)
VI	850(37)	1000(40)
VII	1000(40)	1250(45)

Примечание. В скобках указаны скорости ветра, м/с, соответствующие скоростным напорам.

Расчетные (максимальные) скоростные напоры ветра определяются по табл. 1.19 с учетом следующих поправочных коэффициентов на высоту расположения проводов и тросов:

$h_{пр}$, м	Коэффициент
До 15	1,0
20	1,25
40	1,55
60	1,75
100	2,1

Промежуточные значения коэффициентов могут определяться линейной интерполяцией.

Для участков ВЛ, расположенных в районах с сильными ветрами, при отсутствии данных наблюдений максимальный скоростной напор ветра следует принимать $q_{max}=1{,}4q_{норм}$, где $q_{норм}$ — нормативный скоростной напор ветра для данного района (табл. 1.19).

В застроенной местности, где ВЛ защищены от прямого воздействия поперечных ветров окружающими зданиями, имеющими среднюю высоту не менее 2/3 высоты опор, или в лесных массивах с соответствующей высотой деревьев допускается принимать $q_{max}=0{,}7q_{норм}$.

Во всех случаях при расчете проводов и тросов направление ветра следует принимать под углом 90° к оси ВЛ.

В качестве расчетных температур воздуха (высшей, низшей и среднегодовой) для расчета принимаются фактические их значения по данным многолетних наблюдений (с округлением до числа, кратного пяти) и условные (нормируемые) значения, являющиеся наиболее вероятными в различных режимах работы ВЛ (атмосферные перенапряжения, гололедные нагрузки, монтажные условия, условия приближения токоведущих частей к элементам опоры при рабочем напряжении).

Физико-механические характеристики проводов и тросов. Расчет проводов и тросов на механическую прочность должен выполняться с учетом их конструктивных данных (табл. 1.4, 1.5) и физико-механических характеристик (табл. 1.20).

Запас механической прочности проводов и тросов. Максимальное напряжение в материале проводов и тросов $\sigma_г$ или σ_- при различных режимах работы ВЛ, а также напряжение в среднеэксплуатационном режиме при среднегодовой температуре $\sigma_э$ не должны превышать значений, приведенных в табл. 1.16.

В особых районах по гололеду (при толщине стенки гололеда 23 мм и более) в стале-

Таблица 1.20. **Физико-механические характеристики проводов и тросов**

Марка и сечения проводов и тросов, мм²	Приведенная нагрузка от собственной массы $\gamma_1 \cdot 10^{-2}$, МН/м·мм²	Модуль упругости провода $E \cdot 10^3$, МПа	Температурный коэффициент линейного расширения α, 10^{-6} °С$^{-1}$	Предел прочности провода при растяжении $\sigma_п$, МПа
А, АКП сечением:				
120—185, 300—400	2,75	63	23	160
95, 240	2,75	63	23	150
АН, АНКП	2,75	65	23	208
АЖ, АЖКП	2,75	65	23	285
АС, АСКС, АСКП, АСК сечением:				
35/6,2; 50/8, 95/16, 95/15, 120/19, 150/24, 185/29, 240/39, 300/48, 400/64	3,46	81	19	285
150/19, 185/24, 300/39, 330/43, 400/51, 450/56, 500/64	3,34	77	19,8	270
120/27, 150/34, 185/43, 240/56, 300/66, 400/93	3,71	89	18,3	330
185/128, 300/204, 500/336	4,84	114	15,5	550
ПС всех сечений	8	200	12	620
Стальные тросы (ТК) всех сечений	8	200	12	Согласно ГОСТ, но не менее 1177

Примечание. Пределы прочности для алюминиевых (А, АКП) и сталеалюминиевых проводов указаны при алюминиевой проволоке марки АТ.

алюминиевых проводах сечением 120 мм² и более и при отношении алюминиевой части провода к стальной, равном 4,29—18,09, допускается повышение напряжения при наибольшей внешней нагрузке до 60 % предела прочности (разрывного усилия) провода с ограничением напряжения для толщины стенки гололеда 20 мм не более 45 % предела прочности провода.

Абсолютные значения максимально допустимых напряжений $\sigma_г$, σ_- и $\sigma_э$ для проводов различных марок приведены в табл. 1.16.

МЕХАНИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

Механические нагрузки проводов и тросов подсчитывают на основе принятых для данной ВЛ расчетных климатических условий. При подсчете напряжений и стрел провеса проводов и тросов все механические нагрузки рекомендуется вводить в расчет в виде приведенных (удельных) значений (Н/м³) по формулам табл. 1.21.

В формулах табл. 1.21 приняты следующие обозначения: G — масса 1 м провода, кг/м; S — сечение провода, мм²; $g=9{,}81$ м/с² — ускорение свободного падения тела (при расчетах с учетом допускаемой неточности 2 % можно принимать $g\approx 10$ м/с²); b — нормативная толщина стенки гололеда (§ 1.6), мм; d — диаметр провода, мм; $q_{нор}$ — иормативный скоростной напор ветра, Па (§ 1.6); α — коэффициент неравномерности скоростного напора по пролету, принимаемый: 1 — для скоростного напора 270 Па; 0,91 — для 350 Па; 0,85 — для 400 Па; 0,817 — для 450 Па; 0,783 — для 500 Па; 0,75 — для 550 Па; 0,725 — для 650 Па; 0,713 — для 700 Па и 0,7 — для 760 Па и более; C_x — коэффициент лобового сопротивления, принимаемый: 1,1 — для проводов диаметром 20 мм и более, свободных от гололеда; 1,2 — для проводов диаметром менее 20 мм, свободных от гололеда, и для всех проводов, покрытых гололедом.

РАСЧЕТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СТРЕЛЫ ПРОВЕСА ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

Максимально допустнмое напряжение в материале любого провода определяется исходя из значения разрывного усилия провода в целом (предельного сопротивления разрыву) и нормируемого запаса прочности:

$$\sigma_{г(-)(э)}=\frac{\sigma_п n}{S}, \qquad (1.37)$$

где $\sigma_п$ — разрывное усилие провода, определенное по соответствующим ГОСТ и ТУ, Па; n — запас механической прочности провода, % к разрывному усилию для различных условий; S — площадь поперечного сечения провода, мм².

Абсолютные (нормируемые) значения $\sigma_г$, σ_- и $\sigma_э$ для проводов и тросов различных марок приведены в табл. 1.16.

Механические напряжеиия в проводах при изменяющихся атмосферных условиях для пролетов нормальной длины с точкамн подвеса провода на одной отметке, т. е. при $h=0$, а также при разности высот подвеса, не превышающей 15 % длины пролета (рис. 1.10, *а*),

Таблица 1.21. **Формулы для определения основных механических нагрузок на провода, Н/м³**

Характер нагрузки	Расчетные формулы
От собственной массы провода	$\gamma_1=g\dfrac{G}{S}\cdot 10^6$
От массы гололеда	$\gamma_2=g\cdot 0{,}00283\dfrac{b(d+b)}{S}\cdot 10^6$
От массы провода, покрытого гололедом	$\gamma_3=\gamma_1+\gamma_2$
От давления ветра на провод, свободный от гололеда, при $q_{нор}$	$\gamma_4=\dfrac{\alpha C_x q_{нор} d}{1000S}\cdot 10^6$
От давления ветра на провод, покрытый гололедом, при $0{,}25q_{нор}$	$\gamma_5=\dfrac{\alpha C_x\cdot 0{,}25 q_{нор}(d+2b)}{1000S}\cdot 10^6$
От массы провода и давления ветра на провод, свободный от гололеда	$\gamma_6=\sqrt{\gamma_1^2+\gamma_4^2}$
От массы провода, покрытого гололедом, и давления на него ветра при $0{,}25q_{нор}$	$\gamma_7=\sqrt{\gamma_3^2+\gamma_5^2}$

Примечание. Прн подсчете нагрузки γ_5 для районов с толщиной стенки гололеда 15 мм и более величина $0{,}25q_{нор}$ принимается на менее 140 Па.

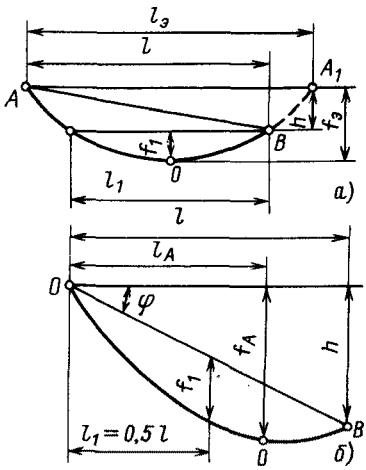


Рис. 1.10. К расчету напряжений и стрел провеса проводов:
а — $h \leqslant 0{,}15l$; *б* — $h > 0{,}15l$

определяются из уравнения

$$\sigma_р - \frac{l^2\gamma_р^2 E}{24\sigma_р^2} = \sigma_m - \frac{l^2\gamma_m^2 E}{24\sigma_m} - \alpha E(\theta_р - \theta_m), \tag{1.38}$$

где σ_m и $\sigma_р$ — напряжения в низшей точке провода в начальном (исходном) и расчетном режимах, Па; γ_m и $\gamma_р$ — приведенные нагрузки, соответствующие σ_m и $\sigma_р$, Н/м^3; θ_m и $\theta_р$ — температуры воздуха, соответствующие σ_m и $\sigma_р$, °С; l — длина расчетного пролета, м; α — температурный коэффициент линейного расширения провода, град$^{-1}$; E — модуль упругости провода, Па.

Стрела провеса провода в расчетном режиме при одинаковой высоте подвеса провода на опорах, м,

$$f_р = \frac{l^2\gamma_р}{8\sigma_р}.$$

Стрелы провеса, соответствующие низшей точке провода, м,

$$f_1 = \frac{l_1^2\gamma_р}{8\sigma_р}; \tag{1.39}$$

$$f_э = \frac{l_э^2\gamma_р}{8\sigma_р}, \tag{1.40}$$

где $l_э$ — эквивалентный пролет, м; l_1 — пролет, соответствующий f_1, м (рис. 1.10):

$$l_э = l + \frac{2\sigma_р h}{\gamma_р l}; \tag{1.41}$$

$$l_1 = l + \frac{2\sigma_р h}{\gamma_р l}; \tag{1.41а}$$

здесь h — разность высот подвеса провода на опорах пролета, м.

Длина провода в пролете, м,

$$L = l + \frac{8}{3}\frac{f^2}{l}, \tag{1.42}$$

где f — стрела провеса провода в рассматриваемом режиме, м.

Напряжение в проводе в точках его закрепления на опорах

$$\sigma_A = \sigma_O + \gamma_р f_р,$$

где σ_O — напряжение в низшей точке провода, Па; $\gamma_р$ и $f_р$ — приведенная нагрузка, Н/м^3, и стрела провеса провода в расчетном режиме.

Напряжение в материале провода для изменяющихся атмосферных условий при разности высот подвеса провода $h > 0{,}15$ (рис. 1.10,*б*) определяется исходя из принятого максимально допустимого напряжения в материале провода в точке его закрепления на опоре (точка *А*). При этом следует иметь в виду, что напряжения, возникающие в высших точках закрепления провода на опорах, не должны превышать 105 % (провода марок А, АКП, АН, АЖ, АНКП, АЖКП) и 110 % (провода марок АС, АСКС, АСК и АСКП) значений, приведенных в табл. 1.16.

По данному значению σ_{max} вычисляется наибольшее напряжение (при заданных сочетаниях климатических условий) в низшей точке провода *О* по формуле

$$\sigma_O = \frac{\left(\sigma'_{max} - \frac{\gamma_{max}h}{2}\right) + \sqrt{\left(\sigma_{max} - \frac{\gamma_{max}h}{2}\right)^2 - \frac{\gamma_{max}^2 l^2}{2}\left(1 + \frac{h^2}{2l^2}\right)}}{2\left(1 + \frac{h^2}{2l^2}\right)}, \tag{1.43}$$

где γ_{max} — приведенная иагрузка, соответствующая σ'_{max}, Н/м^3

Напряжеиие в проводе при расчетном режиме определяется из уравнения

$$\sigma_p - \frac{l_2\gamma_p^2 E\cos^2\varphi}{24\sigma_p^2} = \sigma_O - \frac{l^2\gamma_{max}^2 E\cos^2\varphi}{24\sigma_O^2} - \alpha E(\theta_p - \theta_O),$$

где $\cos^2\varphi = \left(\frac{l}{l^2+h^2}\right)^2$

Расстояние от наиболее высокой точки подвеса до ординаты низшей точки провода, м,

$$l_A = \frac{l}{2} + \frac{\sigma_p h}{\gamma_p l}$$

Стрела провеса, соответствующая точке O, м,

$$f_A = \frac{l_A^2\gamma_p}{2\sigma_p}$$

В приведеиных уравнениях и формулах величиины σ, γ и θ принимаются исходя из конкретиых расчетных условий, которыми могут быть режим низшей температуры, режим наибольших внешних нагрузок или среднеэксплуатационный режим (режим среднегодовой температуры)

Для выявления в качестве расчетного одного из назваиных режимов определяют критические пролеты:

$$l_{кр1} = \frac{2\sigma_э}{\gamma_1} \times \sqrt{\frac{6[\beta(\sigma_э - \sigma_{max}) + \alpha(\theta_э - \theta_-)]}{1 - \left(\frac{\sigma_э}{\sigma_{max}}\right)^2}}, \quad (1\,44)$$

$$l_{кр2} = \frac{2\sigma_{max}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6\alpha(\theta_г - \theta_-)}{\left(\frac{\gamma_г}{\gamma_1}\right)^2 - 1}}, \quad (1\,45)$$

$$l_{кр3} = \frac{2\sigma_{max}}{\gamma_1} \times \sqrt{\frac{6[\beta(\sigma_{max} - \sigma_э) + \alpha(\theta_г - \theta_э)]}{\left(\frac{\gamma_г}{\gamma_1}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{max}}{\sigma_э}\right)^2}}, \quad (1\,46)$$

где σ_{max} — максимально допустимое напряжение в проводе, соответствующее нормативным значеииям $\sigma_г$ или σ_-, $\beta = 1/E$ — коэффициент упругого удлиненииа провода, $\gamma_г$ — приведенная нагрузка провода от массы провода, покрытого гололедом, при $q = 0{,}25 q_{нор}(\gamma_7)$, или нагрузка от массы провода и давлеиия иа него ветра (γ_6), Н/м^3

Путем сравнения длины расчетного пролета $l_р$ с вычислениыми значениями длин критических пролетов выявляют исходиые значения напряжений в проводе, нагрузок и температур (например, σ_{max}, γ_{max} и θ_{max} в уравнении состояния провода)

На рис 1 11 приведены возможные варианты для такого сравнеиия Кривые $\sigma_{э\,(г)}$ и $\sigma_{э\,(-)}$ представляют собой зависимость напряжения в проводе от длины пролета для $\theta_э$ Ордината прямой $\sigma_{э\,(э)}$ характеризует ограничение напряжения при температуре $\theta_э$ (табл 1 16) Выводы по схемам на рис 1 11 приведеиы ниже

Основные параметры исходиых режимов

По рис 1 11,*а*:

при $l_р < l_{кр1}$

$$\sigma_{max} = \sigma_-,\ \gamma_{max} = \gamma_1 \text{ и } \theta_{max} = \theta_-;$$

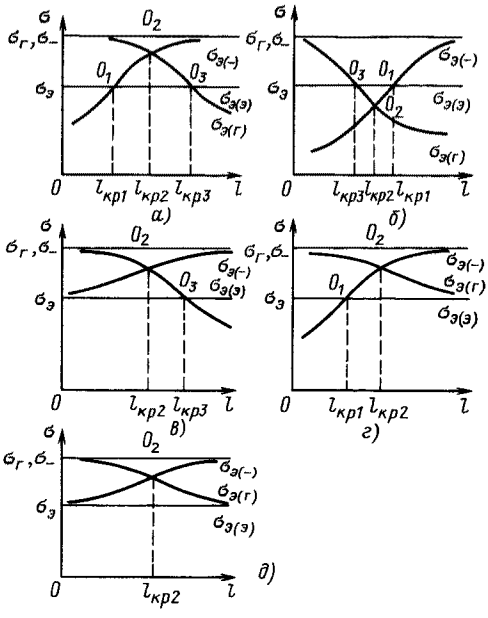


Рис. 1 11. Кривые зависимости напряжения в проводе от длииы пролета (к выбору расчетных режимов)

при $l_{кр1} < l_р < l_{кр3}$

$$\sigma_{max} = \sigma_э,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_э;$$

при $l_р > l_{кр3}$

$$\sigma_{max} = \sigma_г,\ \gamma_{max} = \gamma_г \text{ и } \theta_{max} = \theta_г;$$

пролет $l_{кр2}$ в данном случае физического смысла не имеет и является фиктивным, поскольку расположен выше пределов, ограничивающих $\sigma_э$. Расчет ведется по $l_{кр1}$ и $l_{кр2}$.

По рис. 1.11,*б*:

при $l_р < l_{кр2}$

$$\sigma_{max} = \sigma_-,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_г;$$

при $l_р > l_{кр2}$

$$\sigma_{max} = \sigma_г,\ \gamma_{max} = \gamma_г \text{ и } \theta_{max} = \theta_г;$$

пролеты $l_{кр1}$ и $l_{кр3}$ — фиктивные (аналогично пролету $l_{кр2}$ на рис. 1.11,*а*). Расчет ведется по $l_{кр2}$.

По рис. 1.11, *в*:

при $l_р < l_{кр3}$

$$\sigma_{max} = \sigma_э,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_э;$$

при $l_р > l_{кр3}$

$$\sigma_{max} = \sigma_г,\ \gamma_{max} = \gamma_г \text{ и } \theta_{max} = \theta_г;$$

пролет $l_{кр2}$ — фиктивный, а пролет $l_{кр1}$ переходит через нуль и становится мнимым (кривая $\sigma_{э(-)}$). Расчет ведется по $l_{кр3}$.

По рис. 1.11, *г*:

при $l_р < l_{кр1}$

$$\sigma_{max} = \sigma_-,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_-;$$

при $l_р > l_{кр1}$

$$\sigma_{max} = \sigma_э,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_э;$$

пролет $l_{кр2}$ — фиктивный, а пролет $l_{кр3}$ — мнимый. Расчет ведется по $l_{кр1}$.

По рис. 1.11, *д*: при всех значениях $l_р$

$$\sigma_{max} = \sigma_э,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_э;$$

пролет $l_{кр2}$ — фиктивный, а пролеты $l_{кр1}$ и $l_{кр3}$ — мнимые.

При выборе расчетных режимов в целях экономии времени следует руководствоваться также следующими рекомендациями, позволяющими в ряде случаев не выполнять подсчет значений всех трех критических пролетов:

1) при $l_р < l_{кр2}$, если $l_р > l_{кр1}$,

$$\sigma_{max} = \sigma_э,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_э,$$

а если $l_р < l_{кр1}$, то

$$\sigma_{max} = \sigma_-,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_-$$

(аналогично при $l_{кр1}$ мнимом);

2) при $l_р > l_{кр2}$, если $l_р > l_{кр3}$,

$$\sigma_{max} = \sigma_г,\ \gamma_{max} = \gamma_г \text{ и } \theta_{max} = \theta_г,$$

а если $l_р < l_{кр3}$, то

$$\sigma_{max} = \sigma_э,\ \gamma_{max} = \gamma_I \text{ и } \theta_{max} = \theta_э$$

(аналогично при $l_{кр3}$ мнимом).

Расчет грозозащитных тросов выполняется аналогично расчету проводов. Дополнительно для определения напряжения в тросе $\sigma_{тр}$, при котором расстояние между верхним проводом и тросом в середине пролета исключает перекрытия с троса на провод при прямом ударе молнии в трос, используется формула

$$\sigma_{тр} = \frac{\gamma_{тр}}{\frac{\gamma_п}{\sigma_п} - 8\frac{h_с - h_о}{l^2}}, \qquad (1.47)$$

где $\gamma_п$ и $\gamma_{тр}$ — приведенные нагрузки на провод и трос от собственной массы, Н/м^3; $\sigma_п$ — напряжение в низшей точке провода при температуре $\theta = +15$ °С при отсутствии дополнительных внешних нагрузок, Па; l — длина пролета (при различных по длине пролетах в анкерном участке допускается принимать $l = 1{,}1 \div 1{,}25$ длины габаритного пролета), м; $h_о$ — расстояние между проводом и тросом на опоре (по вертикали), м; $h_с \geqslant 1 + 0{,}015l$ — нормируемое расстояние по вертикали между проводом и тросом в середине пролета, м.

При этом значение $\sigma_{тр}$ не должно превышать нормируемых значений $\sigma_г$, σ_- и $\sigma_э$ (табл. 1.16).

РАСЧЕТ ПРОВОДОВ НА ОСОБЫХ УЧАСТКАХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

К особым участкам ВЛ условно относятся: населенные местности, территории промышленных предприятий, пролеты пересечения с инженерными сооружениями и естественными препятствиями (водные пространства, ущелья и т. п.), участки с сильно пересеченным рельефом, участки сближения со зданиями и сооружениями.

Расчетные сочетания климатических условий для расчета проводов ВЛ (при определении вертикальных и горизонтальных расстояний до земли и сооружений) принимаются в соответствии с ПУЭ.

Определение расстояний по вертикали производится по напряжению в материале провода $\sigma_{пр}$, соответствующему приведенному пролету, м:

$$l_{пр} = \sqrt{\frac{l_1^3 + l_2^3 + l_3^3 + \ldots + l_n^3}{l_1 + l_2 + l_3 + \ldots + l_n}}, \qquad (1.48)$$

где $l_1, l_2, l_3, \ldots, l_n$ — действительные пролеты анкерного участка, в котором расположен рассматриваемый пролет, м.

Если рассматриваемый пролет ограничен опорами анкерного типа, то $l_{пр}=l_р$ и $\sigma_{пр}=\sigma_р$, где $l_р$ и $\sigma_р$ — расчетные (действительные) значения пролета и напряжения в проводе.

Для выявления режима наибольшей стрелы провеса определяется критическая температура:

$$\theta_{кр}=\theta_з+\sigma_з\frac{1}{\alpha E}\left(1-\frac{\gamma_1}{\gamma_з}\right), \qquad (1.49)$$

где $\theta_з$ — температура образования гололеда, °С; $\sigma_з$ — напряжение в проводе для $l_{пр}$ при гололеде без ветра, Па; $\gamma_з$ — приведенная нагрузка от массы провода, покрытого гололедом, Н/м^3.

При наивысшей температуре воздуха $\theta_{max}>\theta_{кр}$ стрела провеса будет соответствовать режиму высшей температуры, а при $\theta_{max}<\theta_{кр}$ — режиму гололедных нагрузок при отсутствии ветра и при $\theta_г$.

Стрелы провеса провода в пролете пересечения с сооружениями (рис. 1.12), м,

$$f_{max}=\frac{l^2\gamma_р}{2\sigma_{пр}}; \qquad (1.50)$$

$$f_1=\frac{l_1 l_2\gamma_р}{2\sigma_{пр}}, \qquad (1.51)$$

где $\gamma_р$ — приведенная нагрузка, соответствующая расчетному режиму (γ_1 или $\gamma_з$), Н/м^3.

При разности отметок подвеса провода на переходных опорах ($h=H_1-H_2$) определяется пропорциональный отрезок, м,

$$y=\frac{hl_1}{l},$$

где l_1 — расстояние от точки пересечения вертикальной оси сооружения до опоры с бо́льшим значением отметки крепления провода, м.

Расстояние от провода ВЛ при его наибольшем провесе до верхней отметки пересечения (при переходе ВЛ над сооружениями), или до нижней отметки (при переходе под сооружением), или до поверхности земли, м,

$$C=H_1-(e+f_1+y),$$

где H и e — отметки провода и пересекаемого сооружения (рис. 1.12), м.

Определение расстояний по горизонтали до зданий и сооружений от проводов ВЛ с учетом их наибольшего отклонения следует производить для нормативных сочетаний климатических условий.

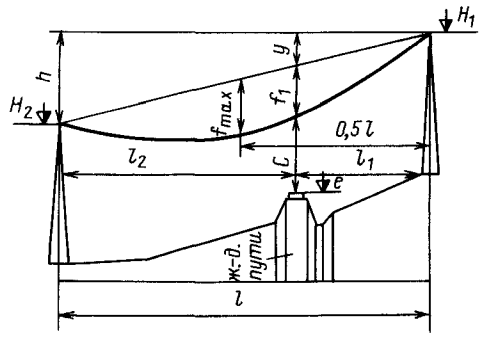


Рис. 1.12. Схема пролета пересечения ВЛ с инженерными сооружениями

При толщине стенки гололеда 15 мм и более рекомендуется дополнительно выполнять проверку на отклонение проводов при $\theta=-5$ °С, $q=0{,}25q_{норм}$, но не менее 62,5 Па при гололеде.

Угол отклонения проводов

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{kP}{G_{пр}+0{,}5G_г}, \qquad (1.52)$$

где P — нормативная ветровая нагрузка на провод, Н; $G_{пр}$ — масса двух полупролетов провода (без гололеда или с гололедом), кг; k — коэффициент, учитывающий динамику колебаний провода при его отклонениях и зависящий от $q_{нор}$, принимается равным: 0,9 при 550 Па; 0,85 при 650 Па и 0,8 при 800 Па (промежуточные значения определяются интерполяцией).

Отклонение провода в пролете под воздействием ветрового напора (рис. 1.13) в зависимости от значений приведенных нагрузок составит

$$\sin\varphi=\frac{\gamma_4}{\gamma_6}\ (\text{при } q=q_{нор});$$

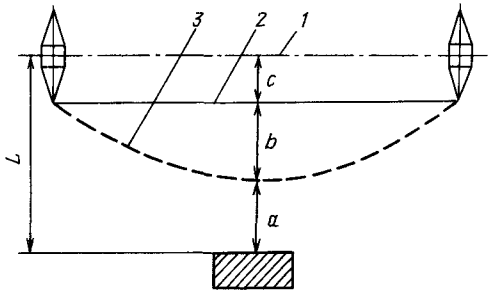


Рис. 1.13. Схема для определения наименьшего расстояния от оси ВЛ до сооружений:
1 — ось линии (трасса); *2* — провода ВЛ в нормальном положении; *3* — отклоненное положение проводов

$$\sin\varphi=\frac{\gamma_5}{\gamma_7}\ (\text{при}\ q=0{,}25q_{\text{нор}}),$$

где $q_{\text{нор}}$ — максимальный нормативный скоростной напор ветра, Па.

Горизонтальная проекция отклоненного провода (в середине пролета)

$$b=f\sin\varphi. \qquad (1.53)$$

Отклонение провода в любой точке пролета, м,

$$b_1=\frac{l_1 l_2\gamma_4}{2\sigma_6}; \qquad (1.54)$$

$$b_1'=\frac{l_1 l_2\gamma_5}{2\sigma_7}. \qquad (1.55)$$

Наименьшее допустимое расстояние L от оси трассы до рассматриваемого объекта сближения (рис. 1.13), м,

$$L=a+c+b,$$

где a — нормируемое наименьшее расстояние от проводов ВЛ до сооружения, м; c — расстояние от оси трассы до точки закрепления провода, м.

Определение вертикальных усилий от тяжения проводов. При значительных разностях точек подвеса проводов на смежных опорах и больших тяжениях наблюдаются явления, при которых в точке закрепления провода на промежуточной опоре, имеющей меньшую высоту отметки, возникают вертикальные, направленные вверх по оси поддерживающей гирлянды усилия (рис. 1.14). Эти усилия при определенных условиях настолько значительны, что приводят к подъему (задиру) поддерживающих гирлянд и нарушению изоляционных расстояний между проводом и телом опоры или срыву штыревых изоляторов со штырей. Весовая нагрузка, за счет которой происходит подъем гирлянды, может быть равной или

$$\frac{l_1+l_2}{2}=\frac{\sigma_{\text{пр}}s}{G}\left(\frac{h_1}{l_1}+\frac{h_2}{l_2}\right)$$

(в этом случае подъема гирлянды или вертикальных усилий на штыре не будет).

Эта нагрузка может быть отрицательной при

$$\frac{l_1+l_2}{2}<\frac{\sigma_{\text{пр}}s}{G}\left(\frac{h_1}{l_1}+\frac{h_2}{l_2}\right). \qquad (1.56)$$

В этом случае будет иметь место подъем гирлянды или срыв штыревого изолятора со штыря.

В приведенных формулах: $\sigma_{\text{пр}}$ — максимальное напряжение в проводе для приведенного пролета, соответствующее условиям низшей температуры без гололеда и ветра, Па; h_1 и h_2 — разности высот подвеса провода на рассматриваемой и смежных с ней опорах, м; l_1 и l_2 — действительные пролеты, смежные с рассматриваемой опорой, м; G — масса 1 м провода, кг/м.

Результирующее усилие, Н,

$$R_{\text{в}}=G\left(\frac{l_1+l_2}{2}\right)+$$

$$+\sigma_{-}s\left(\frac{h_1}{l_1}+\frac{h_2}{l_2}\right). \qquad (1.57)$$

Для компенсации подобных усилий следует использовать типовые балласты, подвешиваемые к концам поддерживающих гирлянд с таким расчетом, чтобы масса грузов каждого балласта G_6 соответствовала соотношению $R_{\text{в}}\leqslant G_6$. Для уменьшения $R_{\text{в}}$ рекомендуется корректировать размещение опор с таким расчетом, чтобы уменьшить значение h, снизить $\sigma_{\text{пр}}$ и т. п.

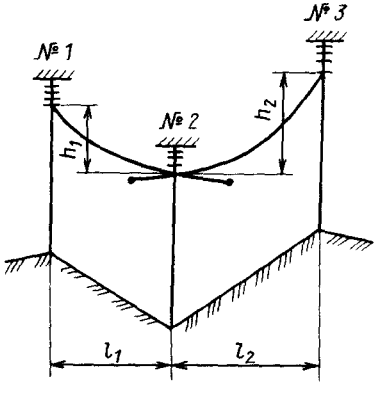


Рис. 1.14. К расчету вертикальных усилий от тяжения проводов

Определение мест установки гасителей вибрации. При необходимости защиты проводов или тросов от вибрации (табл. 1.22) расстояние L от зажима, в котором закреплен провод или трос, до оси гасителя вибрации определяется из выражения, м,

$$L=0{,}00133d\sqrt{\frac{T}{G}},$$

где d — диаметр провода или троса, мм; G —

Таблица 1 22 **Условия защиты одиночных проводов и тросов от вибрации**

Марка провода (троса)	Сечение мм²	Длина пролета для местности типа (см примеч 2), м	
		I	II
А, АКП, АН, АС,	До 95	Более 80	Более 95
АСКС, АСК,	120—240	Более 100	Более 120
АСКП, АЖ	300—500	Более 120	Более 145
ПС, ТК	25—95	Более 120	Более 145

Примечания 1 Защита от вибрации выполняется, если $\sigma_э$ превышает для местностей типов I и II (см примеч 2) соответственно 42 МПа для проводов А, АКП и АН 35, 48 МПа для проводов АС, АСКС, АСК, АСКП и АЖ 40, 215 МПа для проводов и тросов ПС и ТК 180

2 Характер местности I — открытая ровная или малопересеченная местность, II — сильнопересеченная застроенная местность, редкий или низкорослый лес по трассе (ниже высоты подвеса проводов ВЛ)

масса 1 м провода или троса, кг/м, $T=\sigma_э s$ — тяжение провода или троса в среднеэксплуатационном режиме, Н

1.7. РАЗМЕЩЕНИЕ ОПОР ПО ПРОФИЛЮ ТРАССЫ

Размещение опор производят по продольному профилю трассы ВЛ, исходя из принятого в данном случае расчетного пролета $l_р$, значение которого определяется типом опорных конструкций, климатическими условиями района (ветер, гололед), нормируемыми от проводов ВЛ до поверхности земли при наибольшем их провесе

В общем случае при выборе $l_р$, м,

$$f_{max} \leqslant H-(C+0{,}4),$$

где H — активная высота опор (высота подвески нижнего провода), м, C — нормируемое расстояние провод — земля, м, 0,4 — запас в габарите на возможные неточности в графическом построении и отклонении при монтаже, м, f_{max} — максимальная стрела провеса провода, м

Построение продольного профиля трассы следует выполнять в удобном для работы масштабе, а именно для внутризаводских ВЛ, а также ВЛ в черте застроенных и планируемых территорий — 1 200 (по вертикали) и 1 2000 (по горизонтали),

для ВЛ малой протяженности (до 3 км), а также для всех линий (или отдельных участков) с большим количеством надземных и подземных сооружений — 1 100 (по вертикали) и 1 1000 (по горизонтали),

для ВЛ большой протяженности, располагаемых за пределами промышленных площадок и населенных пунктов, 1 500 (по вертикали) и 1 5000 (по горизонтали)

Графоаналитический метод следует применять, как правило, для ВЛ небольшой протяженности с большим количеством пересекаемых надземных коммуникаций и сооружений, попадающих в габаритную зону ВЛ Этот метод заключается в определении местоположения опор путем предварительного расчета переходов через эти коммуникации и выявления расстояний по горизонтали до ближайших частей зданий и сооружений в соответствии с приведенными выше рекомендациями

Графический метод следует использовать при размещении опор ВЛ, имеющих значительную протяженность, с небольшим количеством пересекаемых сооружеиий в ненаселенной местности При этом методе применяется специальный шаблон, представляющий собой кривые (параболы), соответствующие по своим параметрам кривой максимального провисания провода и расположенные одна под другой с определенным сдвигом вдоль вертикальной оси (рис 1,15, *а*) Интервалы сдвига определяются нормируемыми расстояниями от провода до поверхности земли (кривые *1, 2*) и активной высотой опор на данном участке (кривые *1, 3*)

Построение кривой *1* шаблона (рис 1 15, *б*) выполняется по точкам, значение которых в осях координат определяется по формуле

$$y=kx^2, \qquad (1\ 58)$$

где $x=0{,}5l_р$ — переменная величина, представляющая собой длину полупролета провода, м, $k=\dfrac{\gamma_р}{2\sigma_р}$ — постоянная шаблона для каждого расчетного пролета и марки провода, $\sigma_р$ — расчетное напряжение в материале провода, соответствующее f_{max}, Па, $\gamma_р$ — приведенная нагрузка на провод, соответствующая $\sigma_р$ (γ_1 или γ_3), Н/м³ Шаблон выполняется на кальке или целлулоиде в масштабе профиля трассы

Размещение опор начинают с анкерно-угловой опоры, следя за тем, чтобы ось симметрии шаблона была строго параллельна ординатам профиля Перемещая шаблон вдоль

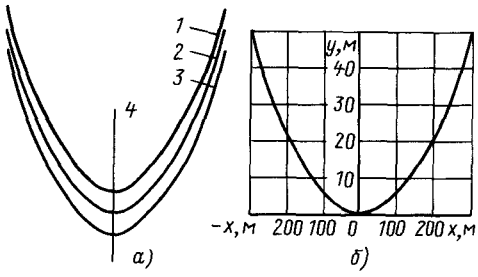


Рис. 1.15. Шаблон для размещения опор по профилю:
а — общий вид; *б* — построение кривой $y=kx^2$; *1* — кривая провисания провода; *2* — «габаритная» кривая; *3* — «земляная» кривая; *4* — ось симметрии шаблона

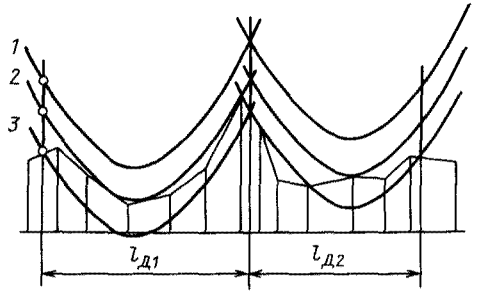


Рис. 1.16. Деталь размещения опор по профилю при помощи шаблона

трассы (рис. 1.16), следует обращать внимание на то, чтобы кривая *2* не пересекала линии профиля, а кривая *1* была совмещена с точкой опоры, соответствующей ее активной высоте. Место пересечения кривой *3* с линией профиля фиксирует место установки следующей опоры. При этом полученный в результате размещения опор пролет не должен превышать значения, принятого для данной линии $l_р$, т. е. должно быть соблюдено условие (рис. 1.16)

$$\frac{l_{д1}+l_{д2}}{2}\leqslant l_р.$$

После предварительного размещения опор по профилю для анкерных участков ВЛ с промежуточными опорами вычисляется приведенный пролет. Если $l_{пр}\approx l_р$ и $\sigma_{пр}\approx\sigma_р$, то выполненное размещение опор следует считать законченным. При $l_{пр}\neq l_р$ и $\sigma_{пр}\neq\sigma_р$ строят новый шаблон, соответствующий $\sigma_{пр}$, после чего производят проверку (а при необходимости и корректировку) ранее выполненного размещения опор на отдельных анкерных участках трассы, добиваясь при этом совпадения по значению указанных пролетов и напряжений.

1.8. ЗАЩИТА ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ВЛИЯНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Общие положения и определения. Проектируемая линия электропередачи может иметь сближения и пересечения с линиями связи. Расчеты влияния линии электропередачи на линии связи, разработка защитных мероприятий, конструктивные чертежи и сметная документация входят составной частью в проект линии электропередачи. Реализация защитных мероприятий по линиям связи осуществляется организациями Министерства связи СССР.

Рассматриваемая защита выполняется в соответствии с «Правилами защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи» [3, 4]. Эти правила распространяются на воздушные и кабельные линии и станционные устройства передачи электроэнергии переменного тока напряжением 1—750 кВ, именуемые в дальнейшем влияющими линиями, и устройства проводной связи, проводного вещания, железнодорожной сигнализации и телемеханики, к которым относятся воздушные и кабельные линии, подключенная к ним аппаратура, в комплексе именуемые в дальнейшем линиями связи.

Влияющие линии могут оказывать на цепи линий связи опасные и мешающие влияния. Опасным влиянием называется такое, при котором напряжения и токи, возникающие в цепях линий связи, могут создавать: опасность для здоровья и жизни обслуживающего персонала и абонентов линий связи; повреждения аппаратуры и приборов, включенных в цепи линий связи; ложные сигналы железнодорожной сигнализации и телемеханики, которые могут приводить к авариям на железной дороге.

Мешающим влиянием называется такое, при котором в каналах связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики появляются помехи, нарушающие нормальное действие этих устройств.

Сближением между влияющими линиями и линиями связи называется такое их взаимное расположение, при котором линия связи находится в зоне опасного или мешающего влияния влияющей линии.

Опасные влияния. Нормируемые величины. Опасные влияния могут возникать в случаях: заземления фазного провода трехфазных влияющих линий с заземленной нейтралью; заземления одного или двух

фазных проводов симметричных влияющих линий с изолированной нейтралью; нормального режима несимметричных влияющих линий переменного тока и заземления фазного провода.

Нормируемые значения продольных ЭДС, индуктируемых влияющими линиями на линии связи, приведены в табл. 1.23—1.25.

Когда продольная ЭДС не превышает значения, указанного в табл. 1.23—1.25, меры защиты на влияющие линии и линии связи применять не требуется.

Когда продольные ЭДС на проводах воздушных линий связи превышают установленную норму и когда в качестве защиты применяют разрядники, допустимое падение напряжения провода по отношению к земле в любой точке линии связи, а также допустимое падение напряжения на сопротивлении заземления разрядников не должны превышать значений, указанных в табл. 1.26.

Разрядный ток через тело человека, кос-

Таблица 1.24. **Допустимые продольные ЭДС на линиях связи при влиянии несимметричных влияющих линий**

Тип линии связи	Допустимая продольная ЭДС, В, на длине гальванически неразделенного участка сближения при влиянии влияющих линий, работающих в несимметричном режиме	
	более 2 ч	менее 2 ч
Воздушная:		
с деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками	60	120
с железобетонными или металлическими опорами	36	70
Кабельная	36	70

Таблица 1.23. **Допустимые продольные ЭДС на проводах цепей линий связи, индуктируемые влияющими линиями с заземленной нейтралью при однополюсном КЗ фазного провода на землю**

Линия связи	Допустимая индуктивная ЭДС на длине гальванически неразделенного участка сближения, В
Междугородные кабельные линии связи	
Без дистанционного питания усилителей или с дистанционным питанием по системе «провод—провод» с незаземленным выходом источника питания	$E \leqslant U_{исп}$
С дистанционным питанием усилителей по системе «провод—провод» постоянным током и «провод—провод» с заземленным выходом источника постоянного тока	$E \leqslant U_{исп} - \frac{U_{д.п}}{\sqrt{2}}$
С дистанционным питанием усилителей по системе «провод—провод» переменным током с заземленной средней точкой источника питания в начале и конце цепи дистанционного питания	$E \geqslant U_{исп} - \frac{U_{д.п}}{2}$
Воздушные линии связи	
С деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками, при времени отключения поврежденного участка влияющей линии:	
до 0,15 с	2000
до 0,3 с	1500
до 0,6 с	1000
до 1,2 с и выше	750
С железобетонными или металлическими опорами при времени отключения поврежденного участка ВЛ:	
до 0,15 с	320
до 0,3 с	240
до 0,6 с	160
до 1,2 с и выше	120
Однопроводные цепи полуавтоматической блокировки с блок-механизмами	60

Примечание. $U_{исп}$ — испытательное напряжение изоляции жил кабеля по отношению к экрану или металлической оболочке кабеля; $U_{д.п}$ — напряжение дистанционного питания.

Таблица 1.25. **Допустимые продольные ЭДС от влияния несимметричных влияющих линий на кабельные линии связи**

Цепи кабельных линий связи	Допустимая индуктивная ЭДС E в жилах кабельных линий связи на длине гальванически неразделенного участка, В
Без дистанционного питания усилителей или с дистанционным питанием по системе «провод—провод» с незаземленным выходом источника тока	$E \leqslant U_{раб\ min}$
С дистанционным питанием усилителей по системе «провод—земля» постоянным током и системе «провод—провод» с заземленным выходом источника постоянного тока	$E \leqslant U_{раб\ min} - \frac{U_{д.п}}{\sqrt{2}}$
С дистанционным питанием усилителей по системе «провод—провод» переменным током с заземленной средней точкой источника питания в начале и конце цепи дистанционного питания	$E \leqslant U_{раб\ min} - \frac{U_{д.п}}{2}$

Примечание. $U_{раб\ min}$ — наименьшее допустимое рабочее напряжение между жилами цепей кабеля строительной длины или смонтированного участка (указывается в технической документации на кабель); $U_{д.п}$ — напряжение дистанционного питания.

нувшегося провода линии связи, подверженной влиянию влияющей линии с изолированной нейтралью, при замыкании фазного провода на землю не должен превышать 10 мА. При этом напряжение провода линии связи по отношению к земле не должно быть более 200 В.

Расчеты и защитные мероприятия. Целью расчетов является определение напряжений и токов, возникающих от влияющих линий в установке линии связи. Объем и методика расчетов приведены в [3]. Следует указать, что «ручной» способ производства расчетов достаточно трудоемок.

Институтом «Электропроект» разработана и применяется программа расчета опасных влияний, выполняемых при помощи ЭВМ. В качестве исходных данных в ЭВМ вводятся параметры рассматриваемой установки (характеристики влияющих линий, линий связи и участков сближения, нормируемые значения и т. д.). В качестве выходных данных приводятся итоги расчета ЭДС и напряжений, таблица расстановки разрядников и итоги расчета заземляющих устройств разрядников.

Если полученные в результате расчетов значения превысят нормируемые (табл. 1.23—1.25), а взаимное изменение трасс влияющих линий и линий связи оказывается невозможным, применяют защиту от опасного влияния влияющих линий, включающую мероприятия как на влияющих линиях, так и на линиях связи.

Основные меры защиты на влияющих линиях включают: применение хорошо проводящих заземленных тросов; частичное разземление нейтралей трансформаторов; частичное или полное каблирование влияющих линий на городских участках.

Таблица 1.26. **Допустимое напряжение провода линий связи по отношению к земле и падение напряжения на сопротивлении заземления разрядников**

Время отключения поврежденного участка влияющей линии, с	Допустимое падение напряжения, В	
	на проводах, воздушных линий связи с деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками	на жилах кабельных линий связи
До 0,15	1300	Не более значений, указанных в табл. 1.23
До 0,30	1000	
До 0,60	750	
Свыше 0,6	500	

К основным мерам защиты на линиях связи относятся: включение специальных разрядников между проводами линий связи и землей; включение разделительных трансформаторов; частичное или полное каблирование линий связи; применение деревянных опор на линиях связи.

Мешающие влияния. Нормируемые величины. Напряжение шума на выводах междугородного коммутатора, оконечной станции переменного или усилительного участка или на выводах телефонного аппарата и токи помех $I_ш$, вызванные влиянием влияющих линий на цепи и каналы проводной связи, должны быть не более указанных в табл. 1.27.

Расчеты и защитные мероприятия. Целью расчетов является определение напряжений

Таблица 1.27. **Допустимые значения напряжения и тока помех в каналах проводной связи от влияния влияющих линий и электрифицированной ж. д.**

Канал (цепь) проводной связи	Допустимое напряжение шума $U_ш$, мВ, или тока помех $I_ш$, мА	Участок и точка цепи, к которым отнесено допустимое значение напряжения или тока помех
Междугородный тональной частоты по воздушным и кабельным линиям связи МС и МПС	1,5	Усилительный участок (линейные входные выводы междугородного коммутатора в точке с относительным уровнем полезного сигнала 0,8 Нп)
Цепь городской и внутрирайонной связи по воздушным и кабельным линиям	1,5	Расстояние от абонента до абонента при местном соединении или абонента до МТС при междугородном соединении (линейные выводы телефонного аппарата)
Избирательной связи МПС	1	Круг избирательной связи (линейные выходные выводы усилителя или коммутатора в точке с относительным уровнем полезного сигнала 1,6 Нп)
Служебной связи тональной частоты по кабельным линиям МПС	3,5	Участок длиной 1200 км
Межстанционной связи МПС	2,25	Расстояние между двумя соседними станциями (линейные выводы телефонного аппарата)
ВЧ систем уплотнения	0,4	Переприемный участок
По стальным и цветным цепям воздушных линий связи	0,04	Усилительный участок (линейные входные выводы усилителя приема)
Однопроводного телеграфирования при передаче:		
однополюсный	$0{,}1I_{раб}$	Трансляционный участок (линейные выводы телеграфного аппарата)
двухполюсный	$0{,}15I_{раб}$	То же

и токов помех, возникающих от влияющих линий в установках линий связи. Объем и методика расчетов приведены в [4]. Традиционный метод производства расчетов в настоящее время вытесняется «машинным» — с применением ЭВМ. В качестве исходных данных используются параметры рассматриваемой установки (характеристика аппаратуры линий связи, нормируемые величины и т. д.). В качестве выходных данных приводятся итоги расчетов (напряжение помех, фона и шума). Если полученные в результате расчетов значения превысят нормируемые (табл. 1.27), а взаимное изменение трасс влияющих линий и линий связи оказывается невозможным, то применяют защиту линий связи от мешающего влияния.

Основным видом защиты на влияющих линиях является запрещение режима работы по системе «два провода — земля» или «провод — земля».

Основные меры защиты, применяемые на линиях связи, включают: частичную или полную замену воздушной линии связи на кабельную линию связи; применение кабелей со специальной оболочкой и броней, экранирующих действие влияющей линии; отказ от работы по однопроводным цепям линии связи; применение траверсного профиля вместо крюкового на воздушных линиях связи.

Б. ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

1.9. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ

При проектировании ВЛ напряжением до 1 кВ следует руководствоваться указаниями и рекомендациями, относящимися к ВЛ напряжением до 20 кВ.

Проект ВЛ до 1 кВ (независимо от степени сложности) следует выполнять в одну стадию.

Выбор трассы ВЛ производится, как правило, камеральным способом, с использованием генерального плана объекта и геоподосновы прилегающей к нему территории. Трасса

ВЛ должна быть согласована со всеми заинтересованными организациями и ведомствами в установленном порядке.

Проектирование следует проводить с таким расчетом, чтобы опоры не затрудняли движение транспорта и пешеходов. При необходимости установки опор вблизи дорог (при параллельном следовании), проездов и въездов во дворы опоры должны быть защищены от наезда транспорта отбойными железобетонными тумбами.

Все остальные указания и рекомендации, относящиеся к отдельным видам проектных разработок, изложены ниже в соответствующих параграфах раздела.

1.10. ПРОВОДА

На ВЛ должны применяться однопроволочные и многопроволочные неизолированные провода, отвечающие требованиям соответствующих ГОСТ и ТУ.

Сечение, диаметр и материал проводов определяют электрическим расчетом сети и конкретными условиями расположения ВЛ (характер местности, пересечения с сооружениями, районы по гололеду и ветру и т. п.).

На ВЛ не допускается применение: расплетенных проводов (включая вводы в здания), стальных однопроволочных проводов диаметром более 5 мм, однопроволочных биметаллических проводов диаметром более 6,5 мм, неоцинкованных в заводских условиях стальных проводов (независимо от района расположения ВЛ).

На ВЛ, как правило, должны применяться многопроволочные алюминиевые провода марки А и провода из алюминиевого сплава марки АН по ГОСТ 839—80Е. При соответствующих технико-экономических обоснованиях на ВЛ в ряде случаев могут применяться многопроволочные сталеалюминиевые провода марки АС и провода из алюминиевого сплава марки АЖ по ГОСТ 839—80Е, многопроволочные стальные провода марки ПС (сечением до 70 мм^2), а также однопроволочные стальные провода по ГОСТ 1668—73 *, условно обозначаемые ПСО. При расположении ВЛ в местностях, где наблюдается повышенная коррозия от агрессивных фракций в атмосфере, рекомендуется применять защищенные от коррозии провода АСКС, АСК, АКП, АНКП по ГОСТ 839—30Е. В подобных случаях не допускается применение стальных проводов в любом исполнении.

Таблица 1.28. **Минимально допустимое сечение или диаметры проводов для различных участков ВЛ**

Провода	Сечение, мм^2, или диаметр, мм		
	Магистральные участки ВЛ	Ответвления к вводам в здания в пролетах	
		до 10 м	10—25 м
Алюминиевые и из алюминиевого сплава	16	16	16
Сталеалюминиевые и биметаллические	10	∅3	∅4

Продолжение табл. 1.28

Провода	Сечение, мм^2, или диаметр, мм		
	Магистральные участки ВЛ	Ответвления к вводам в здания в пролетах	
		до 10 м	10—25 м
Стальные многопроволочные	25	25	25
Стальные однопроволочные	∅4	∅3	∅4
Самонесущие	—	4	6

Таблица 1.29. **Области применения проводов в зависимости от конкретных условий трассы**

Марка провода	Область применения	Дополнительные условия
А и АН сечением 16—25 мм^2; АС сечением 10,6/1,77 мм^2	Повсеместно, за исключением пролетов пересечений с линиями связи, железными дорогами, трамвайными и троллейбусными линиями, судоходными реками и каналами	1. Применение проводов в III, IV и особом районах по гололеду не допускается 2. См. примеч. 2
А и АН сечением 35—50 мм^2; АС сечением 16/2,7 мм^2	Повсеместно, за исключением пролетов пересечения с железными дорогами и судоходными реками и каналами. Применение провода АС сечением 16/2,7 мм^2 при пересечении неизолированных проводов линий связи не допускается	1. Применение проводов марки А и АН сечением 35 мм^2 в IV и особом районах не рекомендуется 2. См. примеч. 2

Продолжение табл. 1.29

Марка провода	Область применения	Дополнительные условия
А и АН сечением 70—120 мм^2	Повсеместно	См. примеч. 2
АС сечением 25/4,2; 35/6,2; 50/8; 70/11 мм^2 и АН сечением 25—120 мм^2	На участках трассы, где по условиям обеспечения повышенной механической прочности ВЛ не могут быть применены алюминиевые провода эквивалентных сечений (переходы через ответственные инженерные сооружения, гололедные районы III, IV и выше и т. п.)	См. примеч. 2
ПСО3	Только на ответвлениях к вводам в здания	1. Применение провода на магистральных участках ВЛ не допускается 2. См. примеч. 1
ПСО4, ПСО5	На ВЛ малой протяженности с небольшими электрическими нагрузками при отсутствии пересечений с инженерными сооружениями	1. Допускается пересечение с ВЛ до 1 кВ на перекрестных опорах 2. См. примеч. 1
ПС25—ПС95	Повсеместно на ВЛ, где электрическим расчетом сети и соответствующими технико-экономическими расчетами установлена целесообразность применения этих проводов, за исключением пролетов пересечения с железными дорогами	См. примеч. 1

Примечания: 1. Применение стальных проводов при наличии агрессивных фракций в окружающей среде не допускается.

2. На ВЛ, расположенных в районах, где опытом эксплуатации установлено интенсивное разрушение сталеалюминиевых или алюминиевых проводов от коррозии в результате наличия агрессивных фракций в окружающей среде, взамен проводов марки АС следует применять провода марки АСКС или АСК, а вместо проводов марок А и АН — провода марки АКП эквивалентных сечений.

Таблица 1.30. **Конструктивные данные алюминиевых и сталеалюминиевых проводов малых сечений и стальных проводов**

Марка провода	Расчетное сечение, мм^2	Число проволок и их диаметр, мм	Диаметр провода, мм	Масса провода, кг/км	Строительная длина, м, не менее
А, АКП	15,9	7×1,7	5,1	43	4500
А, АКП	24,9	7×2,13	6,4	68	4000
АН, АНКП	15,9	7×1,7	5,1	44	3000
АН, АНКП	24,7	7×2,12	6,4	69	3000
АС, АСКС	10,6/1,77	6×1,5/1×1,5	4,5	42,7	3000
ПС (ПМС)	24,6	5×2,5	6,8	194,3	—
ПС (ПМС)	34,4	7×2,5	7,5	272	—
ПС (ПМС)	49,4	3×2,2+9×2,3	9,2	389,4	—
ПС (ПМС)	76,4	7×2,2+12×2,3	11,5	616,6	—
ПСО3	7,1	1×3	3	55,6	450
ПСО4	12,6	1×4	4	98,7	400
ПСО5	19,6	1×5	5	154,2	300

Минимально допустимые сечения или диаметры проводов для различных участков ВЛ приведены в табл. 1.28, а рекомендуемые области применения проводов различных марок — в табл. 1.29.

Основные конструктивные данные применяемых на ВЛ до 1 кВ проводов приведены в табл. 1.4 и 1.30.

1.11. ИЗОЛЯЦИЯ И АРМАТУРА

Для изоляции проводов ВЛ до 1 кВ применяют фарфоровые и стеклянные изоляторы типов ТФ, НС. Основные технические характеристики наиболее распространенных типов изоляторов приведены в табл. 1.31.

Коэффициент запаса прочности изоляторов, т. е. отношение механической разрушающей нагрузки (табл. 1.31) к нормативному тяжению по приводу, должен быть не менее 2,5.

Рекомендуемые области применения изоляторов в зависимости от марки провода приведены ниже:

Марка провода	Тип изолятора
А16, АН16, АС10, 6/1,77, ПСО4	НС-16, ТФ-12
А25, А35, АН25, АН35, АС25, ПС25, ПСО5	НС-16
А50—А120, АП50—АН120, АС50/8,0, АС70/11, ПС35—ПС70	ТФ-20

Изоляторы закрепляют на металлических стандартных штырях или крюках типа КН по ГОСТ 17783—72.

Область применения штырей и крюков приведена в табл. 1.32.

Закрепление проводов на штыревых изоляторах производится при помощи проволочной вязки (промежуточные опоры) и проволочной вязки в сочетании с плашечными (ответвительными) болтовыми зажимами (опоры анкерного типа, ответвительные и переходные).

Для соединения проводов в пролете используют овальные соединители (зажимы) ти-

Таблица 1.31. **Основные технические характеристики изоляторов напряжением до 1 кВ**

Тип изолятора	Механическая разрушающая нагрузка на срез головки изолятора, не менее, Н	Наибольший диаметр, мм	Диаметр шейки, мм	Высота, м	Электрическое сопротивление, МОм	Масса, кг
НС-16	5880	70	39	86	4000	0,32
ТФ-20	7840	70	45	100	50 000	0,58

Таблица 1.32. **Область применения штырей и крюков**

Тип штырей или крюков	Материал стойки (траверсы) и тип опоры	Тип изоляторов
	Штыри	
С-16	Стальные траверсы анкерно-угловых опор	ТФ-20
С-12	Стальные траверсы всех типов опор	НС-16
С-16П	Стальные траверсы промежуточных опор	ТФ-20
Д-16	Деревянные траверсы анкерно-угловых опор	ТФ-20
Д-12	Деревянные траверсы всех типов опор	НС-16
Д-16П	Деревянные траверсы промежуточных опор	ТФ-20
ШТ-20С	Стальные траверсы всех типов опор	НС-16, ТФ-20
ШТ-20Д	Деревянные траверсы всех типов опор	НС-16, ТФ-20
	Крюки (ГОСТ 17783—72)	
КН-16, КН-18, КН-20, КН-22, КН-25	Деревянные стойки промежуточных опор	НС-16, ТФ-20

па СОС или СВС (провода марок ПС) и типа СОАС (провода марок А, АН, АС). При этом провода марок ПС соединяют методом обжатия, а провода марок А, АН и АС — методом скрутки овального соединителя. Соединение проводов марки ПСО следует выполнять бандажной пайкой. Допускается соединение этих проводов электрической сваркой внахлестку. Плашечные и соединительные зажимы, а также изоляторы поставляются трестом «Электросетьизоляция».

1.12. ОПОРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

На ВЛ до 1 кВ следует применять унифицированные конструкции опор по проектам института «Сельэнергопроект». Применение опор других типов должно быть обосновано. На ВЛ должны применяться преимущественно деревяиные опоры с железобетонными приставками, а также деревянные опоры из цельных стоек (рис. 1.17). Применение железобетонных опор согласно «Техническим правилам по экономному расходованию основных строительных материалов» должно быть по возможности ограничено и допускается только в количествах, соответствующих ресурсам, выделяемым для данного министерства или ведомства.

Все промежуточные и перекрестные (переходные) опоры выполняются одностоечными, а анкерно-угловые (концевые) и угловые промежуточные — с подкосами или А-образными.

Закрепление опор в грунте следует выполнять в строгом соответствии с указаниями типовых проектов опор с учетом данных инженерной геологии.

Рекомендуемые к применению опоры института «Сельэнергопроект» рассчитаны на

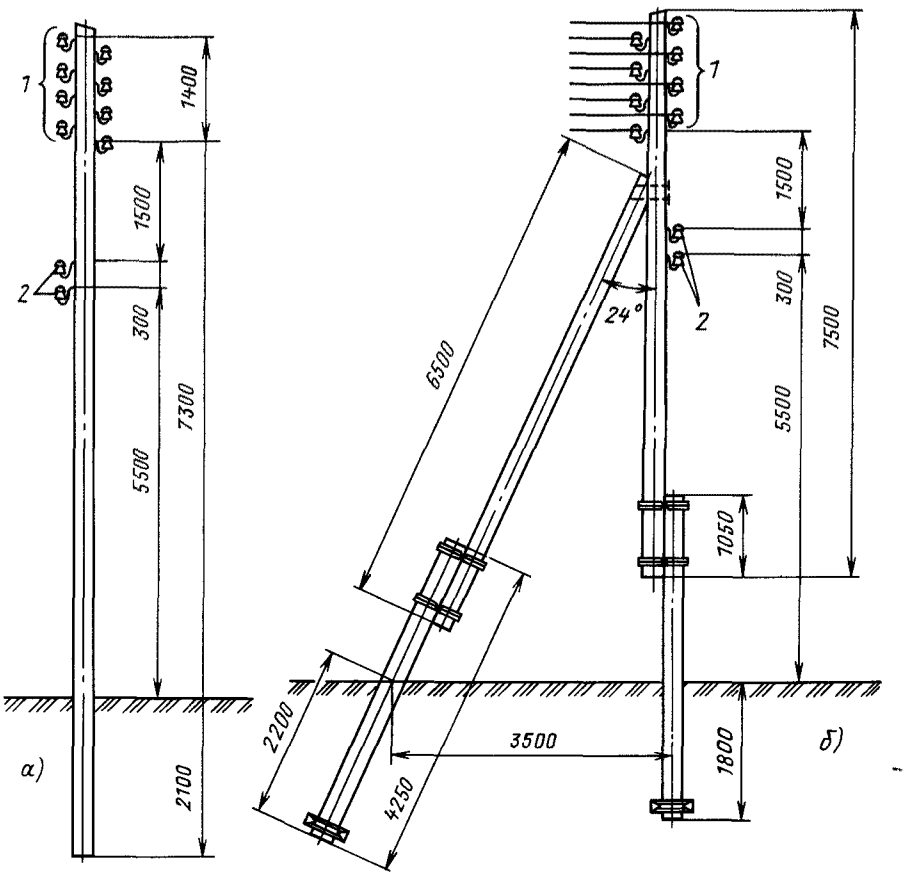


Рис. 1.17. Схемы опор:
а — промежуточная деревянная типа ПН-3Д; б — анкерно-угловая деревянная с подкосом и ж. б. приставками типа УАН-2ДБ; 1 — провода электросети; 2 — провода радиосети

условия I и особого (с толщиной стенки гололеда 20 мм) районов СССР по гололеду. При этом железобетонные опоры предназначены для применения в I—VI, а деревянные — в I—IV районах СССР по ветру. Железобетонные опоры допускают подвеску восьми проводов электросети (провода марок А16—А120, Ап35—Ап50, АС16/2,7—АС50/8, ПС25—ПС70, АН16— АП25) и четырех проводов радиосети (провода ПСО4). На деревянных опорах подвешивают до двенадцати проводов электросети (провода марок А16— А70, АС16/2,7— АС50/8, ПСО-5) и четырех проводов радиосети (провода ПСО-4).

Все остальные технические показатели опор различных типов (масса, геометрические размеры и т. д.) приведены в действующих проектах типовых и унифицированных опор ВЛ 0,4 кВ института «Сельэнергопроект».

1.13. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Электрический расчет линий до 1 кВ включает в себя расчет линии на потерю напряжения и проверку проводов по нагреву.

В практических расчетах электрических сетей до 1 кВ фактор экономической плотности тока, как правило, не учитывается.

Электрические характеристики. Схема замещения линии до 1 кВ аналогична схеме замещения линий 6—36 кВ (см. рис. 1.6, *а*). Активное и реактивное сопротивления алюминиевых и сталеалюминиевых проводов рассчитываются по формулам (1.3), (1.4) и (1.6).

Активное сопротивление стальных проводов, Ом/км,

$$r_0 = r_0' + r_0'', \qquad (1.59)$$

где r_0' — сопротивление провода при постоянном токе; r_0'' — добавочное сопротивление, обусловленное дополнительными потерями мощности на гистерезис и вихревые токи.

Реактивное сопротивление стальных проводов складывается из внешнего x_0' и внутреннего x_0'' сопротивления, Ом/км;

$$x_0 = x_0' + x_0''; \qquad (1.60)$$

$$x_0' = \omega 4{,}6 \lg \frac{2D_{ср}}{d} 10^{-4}; \qquad (1.61)$$

$$x_0'' = \omega 0{,}5\, \eta \cdot 10^{-4}, \qquad (1.62)$$

где $\omega = 314$ — угловая частота при 50 Гц; η — относительная магнитная проницаемость материала провода.

Значения активных и реактивных сопротивлений алюминиевых и сталеалюминиевых проводов, применяемых в линиях до 1 кВ, приведены в табл. 1.33. Стальные провода в сетях до 1 кВ промышленных предприятий применяются исключительно редко. Электрические параметры этих проводов приведены в [4].

Таблица 1.33. **Активное и реактивное сопротивления алюминиевых и сталеалюминиевых проводов, Ом/км**

Марка	Активное сопротивление	Реактивное сопротивление при расстоянии между проводами, мм	
		400	600
Алюминиевые провода			
А16	1,98	0,332	0,358
А25	1,28	0,318	0,345
А35	0,92	0,312	0,326
А50	0,764	0,297	0,325
А70	0,46	0,283	0,315
А95	0,34	0,277	0,302
А120	0,27	0,27	0,297
Сталеалюминиевые провода			
АС10	3,12	0,342	0,368
АС16	2,06	0,318	0,354
АС25	1,38	0,316	0,342
АС35	0,85	0,301	0,327
АС50	0,65	0,292	0,319

Расчет линий на потерю напряжения. В расчетах на потерю напряжения может встретиться необходимость в определении потери напряжения при заданном (известном) сечении линии и определении сечения линии при заданном (допустимом) значении потери напряжения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЗАДАННОМ (ИЗВЕСТНОМ) СЕЧЕНИИ ЛИНИИ

Трехфазная линия с нагрузкой на конце (рис. 1.18). Когда нагрузка потребителя задана током (рис. 1.18, *а*), потеря напряжения определяется по формуле, В,

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I (r \cos \varphi + x \sin \varphi), \qquad (1.63)$$

где r и x — активное и реактивное сопротивления линии, Ом.

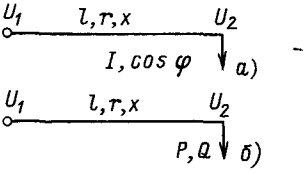


Рис. 1.18. Трехфазная линия с нагрузкой на конце

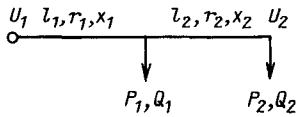


Рис. 1.19. Трехфазная линия с несколькими нагрузками

На основании равенств $I\cos\varphi = I_a$ и $I\sin\varphi = I_r$ получаем

$$\Delta U = \sqrt{3}(I_a r + I_r x). \qquad (1.64)$$

Когда нагрузка потребителя задана величинами P и Q (рис. 1.18, *б*), потеря напряжения ΔU (В или %) определяется следующим образом:

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_{ном}} \text{ и } I_r = \frac{Q}{\sqrt{3}\,U_{ном}};$$

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U_{ном}} l \qquad (1.65)$$

или

$$\Delta U\% = \frac{(Pr_0 + Qx_0)\cdot 100}{U^2_{ном}} l, \qquad (1.66)$$

где l — длина линии, км.

Трехфазная линия с несколькими нагрузками (рис. 1.19).

По аналогии с (1.64) — (1.66)

$$\Delta U = \sqrt{3}\,\Sigma\,(I_a r + I_r x); \qquad (1.67)$$

$$\Delta U = \sum \frac{Pr_0 + Qx_0}{U_{ном}} l; \qquad (1.68)$$

$$\Delta U\,\% = \sum \frac{(Pr_0 + Qx_0)\cdot 100}{U^2_{ном}} l. \qquad (1.69)$$

Развертывая формулу (1.65) применительно к схеме нагрузок, представленной на рис. 1.19, получаем

$$\Delta U = \frac{P_1 r_0 + Q_1 x_0}{U_{ном}} l_1 + \frac{P_2 r_0 + Q_2 x_0}{U_{ном}} (l_1 + l_2). \qquad (1.70)$$

Формула (1.70) справедлива при одинаковом сечении линии по всей ее длине.

Линии с чисто активной нагрузкой

Трехфазная линия (три фазы + 0).

$$\Delta U = \sqrt{3}\,Ir; \qquad (1.71)$$

$$r = r_0 l;\ r_0 = \frac{1}{\gamma s},\ \sqrt{3}\,I = \frac{P}{U_{ном}}.$$

Здесь $\gamma = 1000/\rho$ — удельная проводимость материала провода, м/(Ом·мм^2) [ρ — удельное сопротивление материала провода, Ом/(мм^2·км)]; s — нормальное сечение провода, мм^2;

$$\Delta U = \frac{Pl}{\gamma s U_{ном}}; \qquad (1.72)$$

$$\Delta U\,\% = \frac{100Pl}{\gamma s U^2_{ном}}. \qquad (1.73)$$

Обозначая $Pl = M$ и $\frac{100}{\gamma U^2_{ном}} = \frac{1}{C_1}$, получаем

$$\Delta U\,\% = \frac{M}{C_1 s}, \qquad (1.74)$$

где M — момент нагрузок, кВт·м; C_1 — вспомогательный коэффициент.

Двухфазная линия (две фазы + 0).

$$\Delta U = \frac{2{,}25Pl}{\gamma s U_{ном}}; \qquad (1.75)$$

$$\Delta U\,\% = \frac{100\cdot 2{,}25Pl}{\gamma s U^2_{ном}}. \qquad (1.76)$$

Обозначая $Pl = M$ и $\frac{100\cdot 2{,}25}{\gamma U^2_{ном}} = \frac{1}{C_2}$ и подставляя в (1.76), получаем, %,

$$\Delta U = \frac{M}{C_2 s}. \qquad (1.77)$$

Однофазная линия (фаза + 0).

$$\Delta U = \frac{6Pl}{\gamma s U_{ном}}; \qquad (1.78)$$

$$\Delta U\,\% = \frac{100\cdot 6Pl}{\gamma s U^2_{ном}}. \qquad (1.79)$$

Обозначая $Pl = M$ и $\frac{100\cdot 6}{\gamma U^2_{ном}} = \frac{1}{C_3}$ и подставляя в (1.79), получаем, %,

$$\Delta U = \frac{M}{C_3 s}. \qquad (1.80)$$

Ниже приводятся вспомогательные формулы для определения моментов нагрузок для конкретных конфигураций сети.

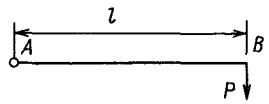


Рис. 1.20. Линия с нагрузкой, сосредоточенной на конце

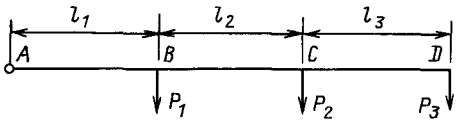


Рис. 1.21. Линия с нагрузками, сосредоточенными в нескольких точках

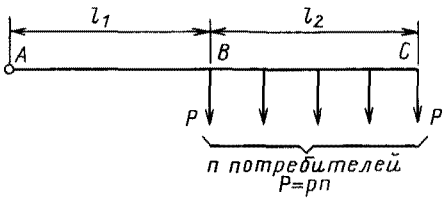


Рис. 1.22. Линия с равномерно распределенной нагрузкой

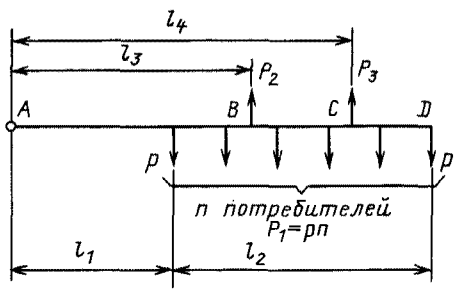


Рис. 1.23. Линия с равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками

Линия с нагрузкой, сосредоточенной на конце (рис. 1.20).

$$M_{AB}=Pl. \qquad (1.81)$$

Линия с нагрузками, сосредоточенными в нескольких точках (рис. 1.21).

$$M_{AB}=(P_1+P_2+P_3)\,l_1;$$

$$M_{BC}=(P_2+P_3)\,l_2;$$

$$M_{CD}=P_3 l_3;$$

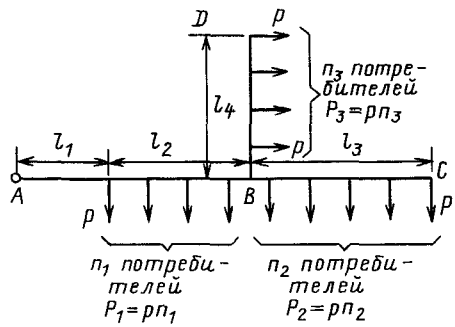


Рис. 1.24. Линия с ответвлениями

$$\sum M_{AD}=M_{AB}+M_{BC}+M_{CD}. \qquad (1.82)$$

Линия с равномерно распределенной нагрузкой (рис. 1.22).

$$M_{BC}=\frac{Pl_2}{2};$$

$$M_{AB}=Pl;$$

$$\sum M_{AC}=M_{BC}+M_{AB}. \qquad (1.83)$$

Здесь на участке BC равномерно распределены n потребителей мощностью p каждый. В этом случае их суммарная мощность $P=pn$ приложена в середине участка.

Линия с равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками (рис. 1.23).

По аналогии с предыдущим

$$M_{AD}=P_1\left(l_1+\frac{l_2}{2}\right)+P_2 l_3+P_3 l_4. \qquad (1.84)$$

Линия с ответвлениями (рис. 1.24).

$$\Sigma M_{AC}=\Sigma M_{AB}+M_{BC} \text{ и}$$

$$\Sigma M_{AD}=\Sigma M_{AB}+M_{BD}, \qquad (1.85)$$

где

$$\Sigma M_{AB}=P_1\left(l_1+\frac{l_2}{2}\right)+$$

$$+(P_2+P_3)\,(l_1+l_2);$$

$$M_{BC}=\frac{P_2P_3}{2};\quad M_{BD}=P_3\frac{l_4}{2}.$$

В формулы (1.74), (1.77) и (1.80) кроме моментов входят также вспомогательные коэффициенты C_1, C_2 и C_3. Они зависят от материала провода и номинального напряжения сети

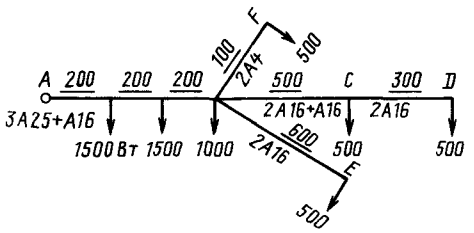


Рис. 1.25. Разветвленная осветительная сеть

и для алюминиевых проводов и стандартных напряжений сети определяются по табл. 1.34.

Пример 1. Потери напряжения в разветвленной осветительной сети ($\cos\varphi=1$) с номинальным напряжением 380/220 В (рис. 1.25). Потеря напряжения на участке AB определяется по (1.74), где числитель представляет собой сумму моментов и вычисляется по (1.82). Значение коэффициента C_1 принимается по табл. 1.34:

$$\Delta U_{AB}=\frac{\Sigma M}{C_1 s}=$$

$$=\frac{6\cdot 200+4{,}5\cdot 200+3\cdot 200}{46\cdot 25}=2{,}34\ \%.$$

Потеря напряжения на участке BE подсчитывается с использованием коэффициента C_3 (однофазный участок сети) и формул (1.80) и (1.81):

$$\Delta U_{BE}=\frac{M}{C_3 s}=\frac{0{,}5\cdot 600}{7{,}7\cdot 16}=2{,}44\ \%.$$

Потеря напряжения на участке BC подсчитывается с использованием коэффициента C_2 (двухфазный участок сети) и формул (1.77) и (1.81):

$$\Delta U_{BC}=\frac{1\cdot 500}{20{,}5\cdot 16}=1{,}53\ \%.$$

Потеря напряжения на участке CD

$$\Delta U_{CD}=\frac{M}{C_3 s}=\frac{0{,}5\cdot 300}{7{,}7\cdot 16}=1{,}22\ \%.$$

Таблица 1.34. **Значения коэффициента C для алюминиевых проводов**

Напряжение сети, В	Система сети		
	три фазы + 0	две фазы + 0	одна фаза + 0
	C_1	C_2	C_3
300/220	46	20,5	7,7
220/127	15,5	6,9	2,6
127	5,2	—	—

Отсюда

$$\Delta U_{AE}=\Delta U_{AB}+\Delta U_{BE}=2{,}34+2{,}44=4{,}78\ \%;$$

$$\Delta U_{AD}=\Delta U_{AB}+\Delta U_{BC}+\Delta U_{CD}=$$

$$=2{,}34+1{,}53+1{,}22=5{,}09\ \%.$$

При вычислении потери напряжения на участке BF используют формулу (1.79), в которую входит величина γ, предварительно определяемая по (1.4):

$$\gamma=\frac{1}{r_0 s}=\frac{1}{0{,}013\cdot 12{,}6}=6{,}1\ \text{м/(Ом}\cdot\text{мм}^2).$$

Здесь значение r_0 найдено по табл. 1.33 (в соответствии с током нагрузки $I=\frac{P}{U_\phi}=\frac{500}{220}=$ $=2{,}3$ А), а значение s — по табл. 1.30. Итак,

$$\Delta U_{BF}=\frac{6\cdot 100 Pl}{\gamma s U_{\text{ном}}^2}=\frac{6\cdot 100\cdot 0{,}5\cdot 100}{6{,}1\cdot 12{,}6\cdot 0{,}38^2}=2{,}7\ \%;$$

$$\Delta U_{AF}=2{,}44+2{,}7=5{,}14\ \%.$$

При потере напряжения в линиях до 1 кВ примерно 5—6 % отклонение напряжения у электроприемников, как правило, находится в пределах, допустимых нормами.

Определение сечения проводов при заданном (допустимом) значении потери напряжения. Потеря напряжения в линиях с несколькими нагрузками определяется по формуле (1.67). Первый член этой формулы представляет собой суммарную потерю напряжения в активных сопротивлениях, второй член — в реактивных. Полная потеря напряжения ΔU складывается из суммарных потерь в активных и реактивных сопротивлениях. Используя (1.63), получаем

$$\Delta U=\Delta U_a+\Delta U_r, \qquad (1.86)$$

где

$$\Delta U_r=\sqrt{3}\,\Sigma I_r x=$$

$$=\sqrt{3}\,x_0\,\Sigma I_r l=\frac{x_0\,\Sigma Ql}{U_{\text{ном}}}. \qquad (1.87)$$

Реактивное сопротивление x_0 1 км ВЛ до 1 кВ для всех марок алюминиевых и сталеалюминиевых проводов практически находится в пределах 0,3—0,35 Ом/км (табл. 1.33). Это позволяет с достаточной точностью определить потерю напряжения в реактивных сопротивлениях, а в последующем и значение допустимой потери напряжения ΔU_a в активных

сопротивлениях:

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r; \qquad (1.88)$$

$$\Delta U_a = \sqrt{3}\,\Sigma I_a r = \frac{\sqrt{3}}{\gamma s}\,\Sigma I_a l = \frac{\Sigma Pl}{\gamma s U_{\text{ном}}}. \qquad (1.89)$$

Отсюда сечение проводов

$$s = \frac{\sqrt{3}}{\gamma\,\Delta U_a}\,\Sigma I_a l = \frac{\Sigma Pl}{\gamma\,\Delta U_a U_{\text{ном}}}. \qquad (1.90)$$

Полученное сечение провода округляется до стандартного. Выбранное сечение проверяется по нагрузке рабочим током и в случае необходимости увеличивается.

Указанный метод определения сечения применим для одиночных линий и для магистральных линий с ответвлениями. Сечение магистралей, как правило, принимается постоянным.

Пример 2. Определить сечение воздушной сети трехфазного тока напряжением 380 В (рис. 1.26, *а*). Известны активные составляющие мощности P и $\cos\varphi$ в каждой расчетной точке. Допустимую потерю напряжения принимают равной 6 % номинального напряжения сети.

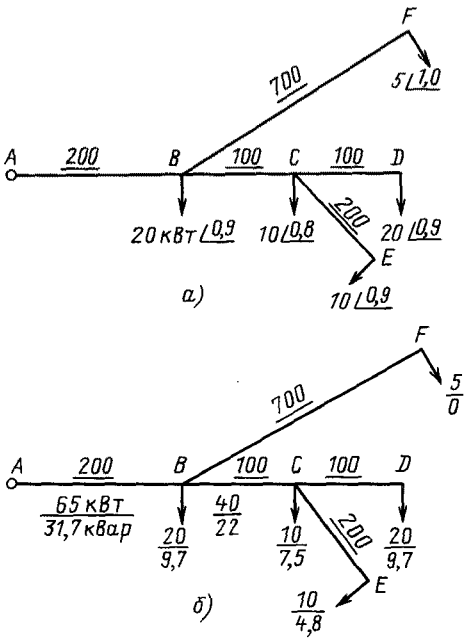


Рис. 1.26. Разветвленная силовая сеть

Определяем распределение активных и реактивных составляющих мощности в точках и участках сети.

В точках B и D $Q = P\,\text{tg}\,\zeta = 20 \cdot 0{,}483 \approx 9{,}7$ квар.

В точке C $Q = 10 \cdot 0{,}748 \approx 7{,}5$ квар.

В точке E $Q = 10 \cdot 0{,}483 \approx 4{,}8$ квар.

На участке BC $\Sigma P = 10 + 20 + 10 = 40$ кВт; $\Sigma Q = 7{,}5 + 9{,}7 + 4{,}8 = 22$ квар.

На участке AB $\Sigma P = 40 + 5 + 20 = 65$ кВт; $\Sigma Q = 22 + 9{,}7 = 31{,}7$ квар.

Результаты подсчета приведены на рис. 1.26, *б*.

Допустимая полная потеря напряжения

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{6 \cdot 380}{100} = 22{,}8 \text{ В}.$$

Определяем сечение магистрали AD. Реактивную составляющую потери напряжения при условно принятой величине $x_0 = 0{,}35$ Ом/км определяем по (1.87):

$$\Delta U_{rAD} = \frac{x_0 \Sigma Ql}{U_{\text{ном}}} = \frac{0{,}35\,(9{,}7 \cdot 0{,}1 + 22 \cdot 0{,}1 + 31{,}7 \cdot 0{,}2)}{0{,}38} = 8{,}7 \text{ В}.$$

Отсюда активная составляющая допустимой потери напряжения

$$\Delta U_{aAD} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{rAD} = 22{,}8 - 8{,}7 = 14{,}1 \text{ В}.$$

Сечение проводов магистрали определяем по (1.90):

$$s_{AD} = \frac{\Sigma Pl}{\gamma U_{\text{ном}} \Delta U_{aAD}} = \frac{20 \cdot 100 + 40 \cdot 100 + 65 \cdot 200}{32 \cdot 0{,}38 \cdot 14{,}1} = 111 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод марки А120, для которого $r_0 = 0{,}27$ Ом/км, $x_0 = 0{,}297$ Ом/км (при расстояниях между фазами 600 мм).

Действительную потерю напряжения на участке AB при принятом сечении магистрали подсчитываем по формуле (1.68):

$$\Delta U_{AB} = \frac{(Pr_0 + Qx_0)\,l}{U_{\text{ном}}} = \frac{(65 \cdot 0{,}27 + 31{,}7 \cdot 0{,}297)\,0{,}2}{0{,}38} = 14{,}2 \text{ В}.$$

Ответвление BF

$$\Delta U_{BF} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{AB} = 22{,}8 - 14{,}2 = 8{,}6 \text{ В};$$

$$s_{BF} = \frac{Pl}{\gamma U_{\text{ном}} \Delta U_{AB}} = \frac{5 \cdot 700}{32 \cdot 0{,}38 \cdot 8{,}6} = 33{,}4 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод марки А35.

Ответвление CE — действительная потеря напряжения на участке BC:

$$\Delta U_{BC}=\frac{(Pr_0+Qx_0)\,l}{U_{\text{ном}}}=$$

$$=\frac{(40\cdot 0{,}27+22\cdot 0{,}297)\,0{,}1}{0{,}38}=4{,}6\text{ В};$$

$$\Delta U_{CE}=8{,}6-4{,}6=4{,}0\text{ В};$$

$$\Delta U_{rCE}=\frac{0{,}35\cdot 4{,}8\cdot 0{,}2}{0{,}38}=0{,}9\text{ В};$$

$$\Delta U_{aCE}=4-0{,}9=3{,}1\text{ В};$$

$$s_{CE}=\frac{Pl}{\gamma U_{\text{ном}}\Delta U_{aCE}}=\frac{10\cdot 200}{32\cdot 0{,}38\cdot 3{,}1}=53\text{ мм}^2.$$

Принимаем провод марки А50.

Приведенный расчет линий напряжением до 1 кВ при выполнении традиционным способом трудоемок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» разработана программа SNOPP автоматизированного проектирования кабельных сетей наружного освещения. Программа комплекса SNOPP обеспечивает решение взаимосвязанных задач, включающих и выбор сечений проводников основных магистралей и ответвлений по потере напряжения и нагреву.

1.14. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОВОДОВ

Расчеты следует выполнять на основании исходных данных и величин, которые принимаются аналогично ВЛ выше 1 кВ. Дополнительно в качестве исходных принимаются расчетный пролет $l_р$ и максимальная стрела провеса f_{max}.

Расчетные климатические условия. Нормативные значения скоростных напоров ветра $q_{нор}$ и толщины стенки гололеда принимаются по табл. 1.18 и 1.19 исходя из повторяемости 1 раз в 5 лет. При этом для ВЛ, расположенных в застроенной местности (со сплошной застройкой) и в лесных массивах и насаждениях при высоте зданий и деревьев не менее 2/3 высоты опор ВЛ, нормативный скоростной напор ветра следует принимать по табл. 1.35.

В качестве расчетных температур принимаются: высшая θ_+ — по данным фактических наблюдений; низшая θ_- — по данным повторяемости 1 раз в 5 лет. При этом θ_+ и θ_- округляются до значений, кратных пяти. В качестве температуры образования гололеда $\theta_г$ принимается при расчете ее нормативное зна-

Таблица 1.35. **Нормативные скоростные напоры ветра для ВЛ, защищенных от воздействия поперечных ветров**

Районы СССР по ветру	Скоростной напор ветра $q_{нор}$	Скорость ветра, м/с
I	160	16
II	210	18
III	270	21
IV	350	24
V	450	27
VI	550	30
VII	700	33

Таблица 1.36. **Расчетные сочетания климатических условий**

Режим	Расчетные климатические параметры
Максимальной стрелы провеса	θ_+, ветер и гололед отсутствуют, $\theta_г$ при гололеде и отсутствии ветра
Максимальных напряжений в материале провода	θ_-, ветер и гололед отсутствуют, $\theta_г$ при гололеде, $q=0{,}25q_{нор}$ (в IV и особом районах по гололеду 150 Па)
Максимальных ветровых нагрузок	$q_{нор}$ при $\theta=-5$ °С, гололед отсутствует

Таблица 1.37. **Физико-механические характеристики проводов**

Марка проводов	$\gamma_1\cdot 10^{-2}$, МН/м^3	$E\cdot 10^3$, МПа	$\alpha\cdot 10^{-6}$, град$^{-1}$	$\sigma_п$, МПа	σ_{max}, МПа
А16, АКП16, А25, АКП25	2,75	63	23	157	55
АН16, АНКП16, АП25, АНКП25	2,75	65	23	204	82
АЖ16, АЖКП16, АЖ25, АЖКП25	2,75	64	23	280	112
АС10, АСКС10	3,46	81	19	285	99
ПСО3, ПСО4, ПСО5	8	200	12	50	216
ПС25, ПС70	8	200	12	620	310

чение $\theta_г = -5$ °С (при среднегодовой температуре $\theta_э = -5$ °С) и $\theta_г = -10$ °С (при $\theta_э = -10$ °С).

Расчет следует производить для расчетных режимов работы ВЛ и соответствующих им расчетных сочетаний климатических условий, приведенных в табл. 1.36.

Физико-механические характеристики проводов приведены в табл. 1.20 и 1.37, максимально допустимые напряжения в материале проводов принимаются в соответствии с табл. 1.16 и 1.37.

Длины расчетного пролета $l_р$ между опорами назначаются в зависимости от расчетных климатических условий, марки и сечения провода, высоты H подвески нижнего провода на опоре ВЛ, нормируемых габаритов (по вертикали C) от проводов ВЛ до земли и сооружений и максимальной стрелы провеса f_{max}.

В общем случае минимально необходимое значение активной высоты опор H, м,

$$H = C + f_{max} + 0{,}4,$$

где C — наименьшее нормируемое расстояние от проводов ВЛ до земли, м; f_{max} — максимальная стрела провеса провода, принимаемая в расчете за исходную величину, м; 0,4 — запас в габарите на возможные неточности при монтаже проводов.

Максимальный провес провода, соответствующий f_{max}, может иметь место в одном из двух режимов работы провода, а именно: при высшей температуре провода без ветра f_+ (I—III районы по гололеду); при гололеде без ветра и температуре —5 °С и —10 °С (IV и особые районы по гололеду).

Учитывая, однако, малые пролеты ВЛ до 1 кВ и как результат — незначительную разницу в значениях f_+ и $f_г$ (не более 5—10 %) в условиях IV района по гололеду, где $f_г > f_+$, в практических расчетах допускается пренебрегать этой разницей и принимать за f_{max} величину f_+. Однако с этой разницей следует считаться в особых районах по гололеду.

Исходное значение f_{max} рекомендуется принимать: 1—1,2 м — для I—III районов по гололеду; 1,4—1,5 м — для IV и особых районов.

Значение расчетного пролета следует назначать в зависимости от климатических условий (ветер, гололед), марок подвешиваемых проводов, несущей способности изоляторов и линейной арматуры, а также оптимальной активной высоты опор ($H = 7 \div 8$ м). При этом значение $l_р$ не должно, как правило, превышать 35—45 м для I и II районов по гололеду, 30—35 м — для III района, 20—30 м для IV и особого районов.

Меньшие значения приведенных выше $l_р$ характерны для районов с сильными ветрами (IV—VII районы по ветру), а бо́льшие значения — для остальных районов.

Механические нагрузки на провода. Расчетные формулы приведены в табл. 1.21.

Абсолютные значения приведенных нагрузок, наиболее часто используемых при расчетах проводов ряда марок для ВЛ, расположенных в застроенной местности и в других местах, защищенных от поперечных ветров (табл. 1.35), приведены в табл. 1.20 и 1.37 (γ_1), табл. 1.38 (γ_3) и табл. 1.39 (γ_7). В расчетах для проводов марки АН можно использовать данные табл. 1.38 и 1.39, относящиеся к проводам марки А эквивалентного сечения, а для проводов марки АСКС — данные для проводов марки АС.

Расчетные напряжения и стрелы провеса проводов. Максимальное напряжение в проводе соответствует исходному режиму принятой (заданной) максимальной стрелы провеса $f_{max} = f_+$:

$$\sigma_+ = \frac{l_р^2 \gamma_1}{8 f_+}, \qquad (1.91)$$

где $l_р$ — расчетная длина пролета ВЛ между точками закрепления провода, м; γ_1 — приведенная нагрузка от собственной массы провода, МН/м^3.

Максимальное напряжение в материале провода может иметь место в одном из двух

Таблица 1.38. **Значение приведенных нагрузок от массы провода, покрытого гололедом**

Марка провода	$\gamma_3 \cdot 10^{-2}$ МН/м^3 для районов с толщиной стенки гололеда, мм			
	5	10	15	20
А16	11,5	29	55,3	90,3
А25	9	21	38,5	61,5
А35	7,7	16,9	30	47,2
А50	6,6	13,3	22,9	35,2
А70	5,8	11	18,1	27,3
А95	5,3	9,4	15	22,1
АС10/1,8	14,1	36	69,1	113,4
АС16/2,7	11,2	26,4	49,4	79
АС25/4,2	9,1	19,5	34,8	54,8
АС35/6,2	7,7	15,3	26	40
АС50/8	7	13,1	21,6	32,6
ПС25	14,4	26,7	44,6	68,2
ПС35	12,6	21,1	33,3	49,3
ПС50	11,8	18,5	28	40,4
ПС70	10,8	15,4	21,8	30
ПСО3	28,4	58,6	113,3	187,6
ПСО4	17,6	38,6	70,5	113,5
ПСО5	14,8	29	50,2	78,5

Таблица 1.39. **Значение приведенных нагрузок от массы провода, покрытого гололедом, и давления на него ветра ($0{,}25q_{нор}$) для ВЛ, защищенных от поперечных ветров**

Марка провода	$\gamma_7 \cdot 10^{-2}$ МН/м^3 для районов с толщиной стенки гололеда, мм													
	5						10						15	20
	при скоростном напоре ветра $q_{нор}$, Па													
	160	210	270	350	450	550	160	210	270	350	450	550	160—550	160—550
А16, АН16	12,3	12,9	13,8	15,2	17,2	19,4	30	30,7	31,7	33,4	36	39	66,6	102,1
А25, АН25	9,6	9,9	10,5	11,4	12,7	14,1	21,6	22	22,7	23,7	25,4	27,3	45,6	69,1
А35, АН35	8,1	8,4	8,8	9,4	10,4	11,4	17,3	17,6	18,1	18,8	20	21,4	35,2	52,6
А50, АН50	6,9	7	7,3	7,7	8,4	9,1	13,6	13,8	14,2	14,7	15,5	16,5	26,4	38,9
А70, АН70	6	6,1	6,3	6,6	7,1	7,6	11,2	11,3	11,6	11,9	12,5	13,2	20,7	30
А95, АН95	5,4	5,5	5,6	5,9	6,2	6,6	9,5	9,6	9,8	10,1	10,5	11	16,8	24
АС10/1,8	15,2	15,9	17	18,7	21,2	23,9	37,2	38,1	39,4	41,5	44,7	48,6	83,5	128,5
АС16/2,7	11,9	12,4	13,1	14,2	15,9	17,7	27,2	27,8	28,7	30,1	32,2	34,7	58,5	88,9
АС25/4,2	9,5	9,8	10,2	10,9	12	13,2	20	20,4	20,9	21,8	23,2	24,8	40,8	61,1
АС35/6,2	8	8,2	8,5	8,9	9,6	10,5	15,6	15,8	16,2	16,8	17,7	18,7	30	44,3
АС50/8	7,2	7,3	7,5	7,9	8,4	9	13,3	13,5	13,7	14,2	14,9	15,7	24,6	35,8
ПС25	14,8	15	15,4	16,1	17,1	18,3	27,2	27,6	28,1	29	30,5	32,2	51,2	75,3
ПС35	12,8	12,9	13,2	13,5	14,1	14,9	21,4	21,6	21,9	22,5	23,4	24,4	37,4	53,8
ПС50	11,9	12	12,2	12,4	12,9	13,4	18,7	18,9	19,1	19,5	20,1	20,9	31	43,6
ПС70	10,8	10,9	11	11,1	11,4	11,7	15,5	15,6	15,8	16	16,3	16,8	23,6	32
ПСО3	25	26,1	27,7	30,3	34	38,2	60,6	62	64,2	67,7	73,1	79,3	137,6	213,4
ПСО4	18,4	19	19,8	21,1	23,1	25,4	39,6	40,4	41,5	43,4	46,3	49,7	83,8	127,7
ПСО5	15,2	15,6	16	16,8	18	19,4	29,6	30	30,7	31,8	33,7	35,8	58,5	87,5

расчетных режимов, а именно: при низшей температуре и отсутствии ветра и гололеда или при гололеде, ветре и температуре образования гололеда.

Для определения σ_{max} используется уравнение

$$\sigma_\theta - \frac{l_p^2 \gamma_m^2 E}{24\sigma_\theta^2} = \sigma_{max} - \frac{l_p^2 \gamma_{max} E}{24\sigma_{max}^2} - \alpha E(\theta_1 - \theta_2),$$

где σ_θ — напряженне в проводе, соответствующее исходному режиму, Па; θ_1 — температура воздуха прн σ_θ, °С; γ_m — приведенная нагрузка, соответствующая исходному режиму, МН/м^3 (при θ_+ $\gamma_m = \gamma_1$); γ_{max} и θ_2 — прнведенная нагрузка и температура воздуха, соответствующие условиям, при которых может возникать напряжение σ_{max} ($\gamma_{max} = \gamma_7$ прн $\theta_г$ или $\gamma_{max} = \gamma_1$ прн θ_-); α — температурный коэффнцнент линейного расшнрення провода, град$^{-1}$; E — модуль упругостн провода, Па (табл. 1.20 и 1.36). Решая уравненне дважды (для $\theta_г$ прн гололеде и ветре и для θ_- без гололеда и ветра), выбнрают большее значение σ_{max}.

Критнческий пролет определяется по формуле, м,

$$l_{кр} = \frac{2\sigma_{max}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6\alpha(\theta_г - \theta_-)}{\left(\frac{\gamma_г}{\gamma_1}\right)^2 - 1}}. \quad (1.92)$$

Используя полученные значения σ_{max} и $l_{кр}$, при необходимостн вычисляют значения расчетных напряжений σ_p и стрел провеса f_p при работе провода в любом режиме для различных пролетов l_p. Для этого в уравнение (1.38) подставляют соответствующие заданному режиму γ_m и θ_1 (например, в режиме гололеда без ветра $\gamma_m = \gamma_3$ и $\theta_1 = -5$ °С). Прн этом в качестве исходных величин принимают: для пролетов $l_p < l_{кр}$ $\gamma_{max} = \gamma_1$ и $\theta_2 = \theta_-$; для пролетов $l_p > l_{кр}$ $\gamma_{max} = \gamma_7$ и $\theta = -5$ °С.

Стрела провеса провода в расчетном режиме, м,

$$f_p = \frac{l^2 \gamma_m^2}{8\sigma_p},$$

где l — длнна пролета, м; γ_m и σ_p — приведенная нагрузка и напряженне в проводе при расчетном режиме.

Для вычисления **монтажных стрел провеса** проводов в качестве расчетных условнй следует прнннмать: θ_1 — температуру воздуха (от +40 до −20 °С); θ_2 — исходную температуру ($\theta_2 = \theta_1$ при $\gamma_{max} = \gamma_1$ и $\theta_2 = \theta_г$ прн $\gamma_{max} = \gamma_7$); ветер и гололед отсутствуют.

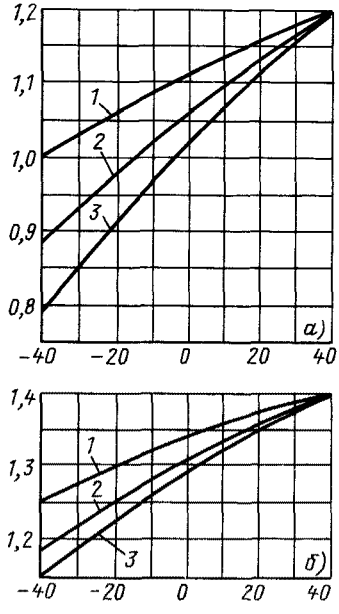


Рис. 1.27. Монтажные кривые стрел провеса проводов:
а — $l=35$ м, $f_{max}=1{,}2$ м, I — III районы по гололеду; *б* — $l=30$ м, $f_{max}=1{,}4$ м, IV район по гололеду; *1* — провода ПСО-5; *2* — провода АС25/4,2— АС50/8,0; *3* — провода А25 — А50, АН25 — АН50

Результаты расчета оформляются в виде графиков (рис. 1.27).

Взаимное расположение проводов. Расстояние между проводами на опоре и в пролете в исходных режимах при $f_{max}\leqslant 1{,}2$ м при вертикальном расположении проводов должно составлять не менее 40 см в I—III районах по гололеду, 60 см в IV и особом районах.

При других расположениях проводов во всех районах по гололеду эти расстояния должны быть не менее 40 см при скорости ветра до 18 м/с и 60 см при скорости ветра более 18 м/с.

Для $f_{max}>1{,}2$ м расстояния следует увеличивать пропорционально отношению $f_\phi/1{,}2$, где f_ϕ — фактическая наибольшая стрела провеса, м.

При расположении проводов в пролете в два яруса и более при подвеске в одном ярусе алюминиевых проводов, а в другом — стальных во избежание схлестывания проводов в пролете при изменении температуры (за счет того, что стрелы провеса их изменяются в разной степени) рекомендуется в условиях I—III районов по гололеду принимать, как правило, порядок их расположения на опоре и в пролете по рис. 1.28; в IV и особом районах

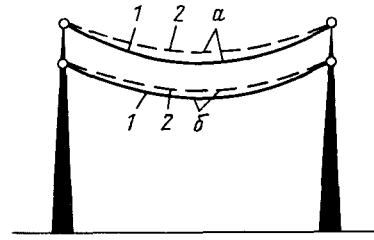


Рис. 1.28. Порядок взаимного расположения проводов в пролете для I — III районов по гололеду:
а — провода марок А, АКП, АН; *б* — провода марок ПС, ПСО; *1* — провес проводов при высшей температуре; *2* — провес проводов при низшей температуре

по гололеду порядок расположения проводов может быть любым.

Расчет проводов на особых участках линии электропередачи. Расчетные сочетания климатических условий при определении расстояний по вертикали приведены в табл. 1.36. Для расчета отклонения проводов и приближения их к зданиям и сооружениям следует принимать высшую температуру воздуха θ_+, скоростной напор ветра $q_{нор}$.

Расстояния по вертикали и горизонтали определяют в соответствии с рекомендациями и методикой расчета, изложенными выше. При этом для ВЛ до 1 кВ удобно пользоваться преобразованной формулой (1.51)

$$f_1=l_1l_2k,$$

где k — коэффициент, зависящий от длины переходного пролета и максимальной стрелы провеса f_{max}, принимаемый по табл. 1.40.

При большом числе пересечений в целях экономии времени с достаточной для инженерных расчетов точностью следует пользоваться графоаналитическим методом, используя для этого известную величину f_{max} и графики на рис. 1.29.

В зависимости от отношения l_1/l находят значение коэффициента B, после чего определяют величины f_1 и y по формулам, м,

$$f_1=f_{max}B \text{ и } y=hB,$$

где h — разность высоты подвески нижнего провода на переходных опорах, м.

Так, при $h=2$ м, $f_{max}=1{,}5$ м и $l_1/l=0{,}72$ (рис. 1.29) $f_1=1{,}5\cdot 0{,}82=1{,}23$ м и $y=2\cdot 0{,}72=1{,}44$ м.

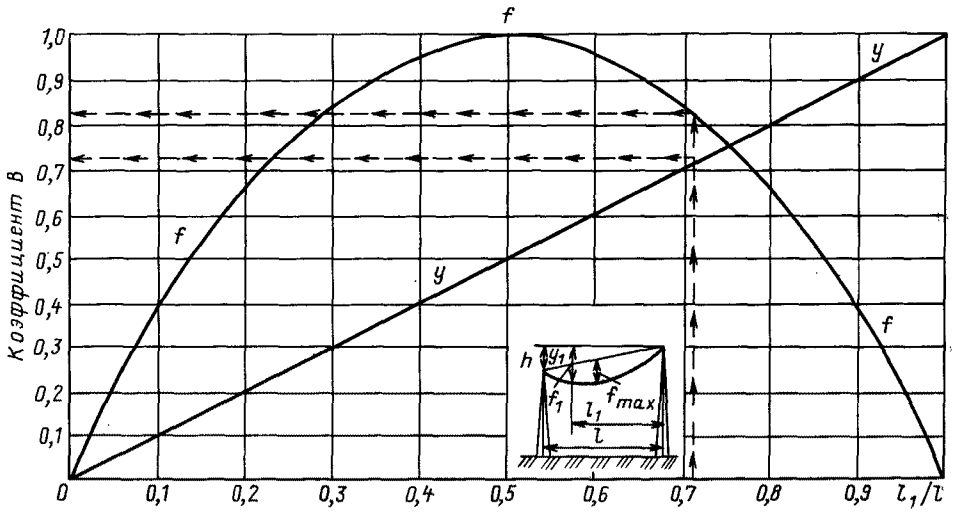


Рис. 1.29. Графики для определения коэффициента B и отрезка y

Вырывающие усилия $P_в$ определяют при низшей температуре воздуха при отсутствии ветра и гололеда ($\theta_1=\theta_-$ и $\gamma_г=\gamma_1$) в основном абсолютными значениями отрезков n и m (рис. 1.30), значения которых находят введением в расчет понятия эквивалентного пролета, м,

$$l_э=l+\frac{lh}{4f_-},$$

где l — длина пролета между опорами, м; h — разность высот подвески провода на смежных опорах, м; f_- — минимальная стрела провеса провода при θ_-, м.

Длины отрезков m и n в данном случае (рис. 1.30), м,

$$m=l_1-\frac{l_э}{2};\quad n=\frac{l_э}{2}-l_2.$$

Отрезок n, расположенный за пределами пролета l_2, приводит к возникновенню вырывающего усилия P. Отрезок m, находящийся в пределах пролета l_1, в некоторой степенн компенсирует это усилие. Величины P в том и другом случае вычисляются по формулам, Н,

$$P_1=nGg \text{ и } P_2=mGg,$$

где G — масса 1 м провода, кг; $g=9{,}81$ м/с^2 — ускорение свободного падения тела.

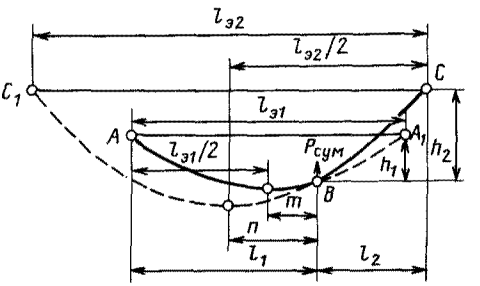


Рис. 1.30. Характерный случай возникновения вырывающих усилий (к расчету $P_в$)

Результирующее по значению и направлению усилие $P_в$ находят путем определения разности между P_1 и P_2.

При расположении обоих отрезков n и m вие действительных пролетов l_1 и l_2 возиикают суммарные (некомпенсированные) вырывающие усилия от тяжения проводов ($P_{сум}=P_1+P_2$). Допускаемое значение $P_{сум}$ не должно, как правило, превышать 40—45 Н, для чего при необходимости используют следующие способы уменьшения $P_{сум}$: изменение размещения опор по трассе, с тем чтобы уменьшить величину h; повышение опоры, на которой возникает усилие $P_в$; снижение в проводах значения σ_- при θ_- за счет увеличеиия f_{max}.

В. КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 1—220 кВ

1.15. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Кабельные линии служат для передачи электроэнергии и состоят из одного или нескольких параллельных кабелей, соединительных, стопорных и концевых муфт (с заделками), а для маслонаполненных линий, кроме того, с подпитывающими аппаратами и системой сигнализации давления масла.

Все силовые кабели подразделяются на две группы:

кабели низкого напряжения на 1, 3, 6, 10, 20 и 35 кВ, с медными и алюминиевыми жилами, с бумажной изоляцией, обедненно-пропитанной бумажной изоляцией, с бумажной изоляцией, пропитанной вязким нестекающим составом, с пластмассовой и резиновой изоляцией, в свинцовой, алюминиевой и пластмассовой оболочках, бронированные и небронированные.

Кабели низкого напряжения выпускаются одно-, двух-, трех- и четырехжильными;

кабели высокого напряжения на 110, 220 кВ и выше.

К ним относятся маслонаполненные кабели низкого и высокого давления и кабели с пластмассовой изоляцией.

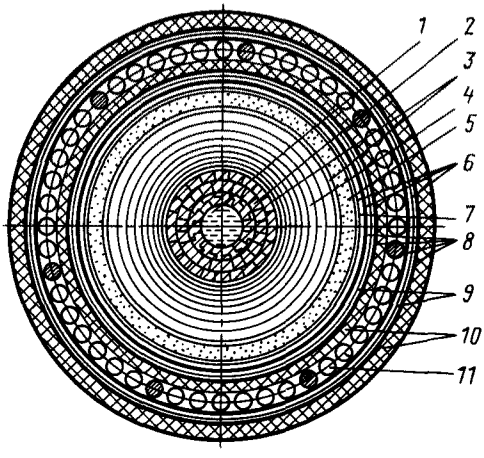


Рис. 1.31. Кабель низкого давления марки МНСК:
1 — маслопроводящий канал; *2* — токопроводящая жила; *3* — экраны по жиле и изоляции; *4* — изоляция; *5* — свинцовая оболочка; *6* — ленты поливинилхлорида или полиэтилентерефталата; *7* — медные твердокатаные ленты; *8* — слои битумного компаунда; *9* — лента битуминированной кабельной бумаги; *10* — стеклопряжа или пропитанная кабельная пряжа; *11* — броня из круглых стальных оцинкованных и медных проволок

Особенностью маслонаполненных кабелей высокого напряжения является применение избыточного давления изоляционного масла при стационарных и переходных режимах работы.

Давление определяет конструктивное выполнение кабелей.

Кабели низкого давления выполняют в одножильном исполнении с токопроводящими медными жилами с центральным масляным каналом и в герметических оболочках из свинца или алюминия (рис. 1.31).

Для кабелей низкого давления, имеющих свинцовую оболочку, при нормальной работе необходимо обеспечить длительно допустимое давление 0,0245—0,294 МПа, имеющих алюминиевую оболочку — 0,0245—0,49 МПа.

При переходных тепловых процессах избыточное давление масла должно быть в пределах 0,0149—0,590 МПа для кабелей в свинцовой оболочке и 0,0149—0,98 МПа для кабелей в алюминиевой оболочке.

Кабели высокого давления выполняют в одножильном исполнении с токопроводящими медными жилами (рис. 1.32). Для кабелей высокого давления в стальном трубопроводе, заполненном маслом, при нормальной работе необходимо обеспечить длительно допустимое давление 1,08—1,57 МПа.

При переходных тепловых процессах избыточное давление масла должно быть в пределах 0,98—1,76 МПа.

В настоящее время освоено производство

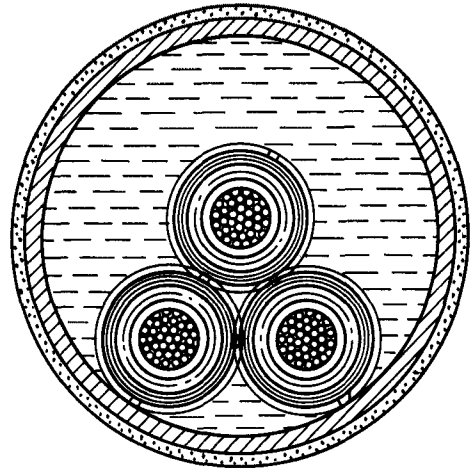


Рис. 1.32. Кабель маслонаполненный высокого давления на напряжение 110 кВ марки МВДТ 3×400 мм^2

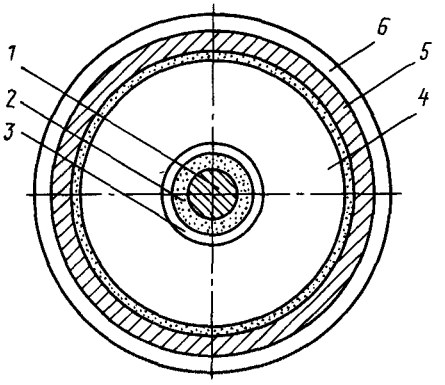


Рис. 1.33. Кабель на напряжение 110 кВ с пластмассовой изоляцией:
1 — токопроводящая жила; *2* — экран из электропроводящего вулканизированного полимера; *3* — эмиссионный слой; *4* — изоляция из полиэтилена; *5* — экран из медной ленты; *6* — оболочка пластмассовая

кабелей 110 кВ с пластмассовой изоляцией в одножильном исполнении, с токопроводящей алюминиевой однопроволочной и многопроволочной жилами. Поверх токопроводящей жилы находится слой электропроводящего вулканизированного полимера и изоляция из вулканизированного полиэтилена. Поверх электропроводящего слоя находится экран из медной гофрированной ленты толщиной 0,25 мм, по которой нанесена оболочка из полиэтилена, или самозатухающего полиэтилена, или поливинилхлоридного пластиката (рис. 1.33).

Таблица 1.40. **Значение коэффициента** k

f_{max}, м	l, м	$k \cdot 10^{-3}$
1	33—35	3,5
	39—42	2,4
1,2	28—30	5,4
	33—35	3,9
	39—41	3
	43—45	2,4
1,5	23—25	11,4
	28—30	7,2

Основные характеристики и рекомендации по применению кабелей высокого напряжения приведены в табл. 1.41. Технические данные кабелей высокого напряжения приведены в табл. 1.42—1.54.

В необходимых случаях для повышения термической стойкости медного экрана рекомендуется прокладка заземляющего провода с алюминиевыми жилами сечением 350, 500 и 625 мм^2, при этом допустимый ток короткого замыкания при повреждении кабеля должен соответствовать значениям, указанным в табл. 1.53.

Таблица 1.41. **Основные характеристики и рекомендации по применению кабелей высокого напряжения**

Марка кабеля	Характеристика	Области применения
А. Маслонаполненные кабели низкого и высокого давления 110 и 220 кВ		
МНС	Маслонаполненный, низкого давления, в свинцовой оболочке с упрочняющими и защитными покровами из лент поливинилхлоридного пластиката	В каналах зданий и туннелях
МНСА	То же, с защитным покровом из слоев битумного состава, полиэтилентерефталатных лент и пропитанной кабельной пряжи (или стеклопряжи)	В земле (траншеях), если кабель не подвергается растягивающим усилиям и защищен от механических повреждений
МНАШв	Маслонаполненный, низкого давления, в алюминиевой оболочке, с защитными покровами в виде шланга из поливинилхлоридного пластиката	В каналах зданий и туннелях
МГАгШВ	То же, в алюминиевой гофрированной оболочке	В каналах зданий и туннелях
МНГАгШву	То же, с усиленным защитным слоем под шлангом	В земле (траншеях), если кабель не подвергается растягивающим усилиям и защищен от механических повреждений

Продолжение табл. 1.41

Марка кабеля	Характеристика	Области применения
МНАШВу	То же, в алюминиевой оболочке с защитным покровом в виде шланга из поливинилхлоридного пластиката, с усиленным защитным слоем под шлангом	В земле (траншеях), если кабель не подвергается растягивающим усилиям и защищен от механических повреждений
МНСШв	Маслонаполненный, низкого давления, в свинцовой оболочке, в шланге из поливинилхлоридного пластиката	То же, а также в каналах зданий и туннелях
МНСК	То же, с упрочняющим покровом, с подушкой, с броней из круглых стальных оцинкованных с наружным покровом из слоев битумного состава полиэтилентерефталатных лент и пропитанной кабельной пряжи (или стеклопряжи)	Под водой, в болотистой местности, где кабель подвергается растягивающим усилиям и где требуется его дополнительная механическая защита
МВДТ	Маслонаполненный, высокого давления, в свинцовой оболочке, снимаемой на месте прокладки при протягивании кабеля в трубопровод	В стальном трубопроводе с маслом под давлением в туннелях, в земле и под водой
МВДТк	Маслонаполненный, высокого давления, в контейнере с маслом	То же
	Б. Кабели с пластмассовой изоляцией 110 кВ	
АПвП	Кабель с алюминиевой жилой с изоляцией из вулканизированного полиэтилена в оболочке из полиэтилена	В земле (в траншеях или бетонных лотках), если кабель не подвергается растягивающим усилиям и защищен от механических повреждений
АПвПС	Кабель с алюминиевой жилой с изоляцией из вулканизированного полиэтилена в оболочке из самозатухающего полиэтилена	То же, а также на воздухе при защите от воздействия солнечной радиации
АПвВ	Кабель с алюминиевой жилой с изоляцией из вулканизированного полиэтилена в оболочке из поливинилхлоридного пластиката	На воздухе при защите от воздействия солнечной радиации

Примечание. К маркам маслонаполненных кабелей, пропитанных синтетическим маслом, добавляется буква С.

Таблица 1.42. **Технические данные кабелей 110 кВ низкого давления**

Сечение жилы, мм²	Наружный диаметр, мм		Масса кабеля, кг/км		Максимальная строительная длина, м
	МНАШВ, МНАгШВ	МНАШВу, МНАгШВу	МНАШв, МНАгШв	МНАШВу, МНАгШВу	
150	54,4	59,2	5004	5488	1150
185	55	59,8	5454	5944	1060
240	56,9	61,7	6053	6539	990
270	56,8	61,6	6441	6946	910
300	64,0	68,8	7264	7829	890
350	65,6	70,4	8049	8626	850
400	66,6	71,4	8651	9238	810
500	69,6	74,4	9962	10 575	750
550	72	76,8	10 637	11 271	725
625	72,4	77,2	11 434	12 069	680
800	80,6	85,4	14 024	14 730	614

Таблица 1.43. **Технические данные кабелей 110 кВ с пластмассовой изоляцией**

Номинальное сечение, мм²	Наружный диаметр, мм	Расчетная масса, кг/км
350	58,2	3526
500	62,4	4441
625	68,5	4953

Примечание. Строительная длина кабеля должна быть согласована с заводом-изготовителем при разработке проекта.

Таблица 1.44. **Технические данные кабелей 110—220 кВ низкого давления марок МНС, МНСК и МНСА**

Сечение жилы, мм²	Диаметр, мм		Толщина изоляции, мм	Диаметр под оболочкой, мм	Свинцовая оболочка		Наружный диаметр, мм	Масса кабеля, кг/км	Длина на барабане (строительная длина), м
	канала	жилы			Толщина, мм	Диаметр, мм			
Кабель марки МНС-110									
150	12	18,8	11	42,4	3	48,4	56,6	9628	1100
185	12	20,2	10,6	43	3	49	57,2	10 138	1050
240	12	22,1	10,6	44,9	3	50,9	59,1	10 910	1000
270	12	23,2	10	44,8	3	50,8	59	11 305	1000
300	12	24,0	10	45,6	3	51,6	59,8	11 622	1000
350	12	25,6	10	47,2	3	53,2	61,4	12 556	950
400	12	26,8	9,8	48	3	54	62,2	13 214	900
500	12	29,4	9,8	50,6	3,3	57,2	65,4	15 386	800
550	12	31,6	9,8	52,8	3,3	59,4	67,6	16 225	800
625	12	32,4	9,6	53,2	3,3	59,8	68	17 106	700
800	14	39,6	9,6	60,4	3,3	67	75	20 340	600
Кабель марки МНСК-110									
150	12	18,8	11	42,4	3	48,4	74,4/78,4	15 447/17 908	1045/900
185	12	20,2	10,6	43	3	49	75,0/79	16 003/18 428	1010/865
240	12,4	22,1	10,6	44,9	3	50,9	76,9/80,9	16 915/19 502	900/830
270	12	23,2	10	44,8	3	50,8	76,8/80,8	17 302/19 896	900/815
300	12,4	24	10	45,6	3	51,6	77,6/81,6	17 742/20 230	890/800
350	12	25,6	10	47,2	3	53,2	79,2/83,2	18 814/21 431	850/755
400	12	26,8	9,8	48	3	54	80,0/84	19 594/22 337	810/725
500	12	29,4	9,8	50,6	3,3	57,2	83,2/87,2	22 048/24 816	750/655
550	14,4	31,6	9,8	52,8	3,3	59,4	85,4/89,4	23 132/ 26 047	720/620
625	12	32,4	9,6	53,2	3,3	59,8	85,8/89,8	23 918/26 834	675/695
800	14,5	39,6	9,6	60,4	3,3	67	93,0/97	27 737/30 985	585/523
Кабель марки МНСК-220									
300	—	24	20,8	67,6	3,3	—	104,2	29 857	—
350	—	25,6	20	67,6	3,3	—	104,2	30 460	—
400	—	26,8	20	68,8	3,3	—	105,4	31 314	—
500	—	29,4	18,8	69	3,3	—	105,6	32 498	—
550	—	31,6	18,8	71,2	3,6	—	108,4	34 736	—
625	—	32,4	18	70,4	3,6	—	107,6	34 899	—
800	—	39,6	18	77,6	3,6	—	114,8	39 420	—
Кабель марки МНСА-110									
150	12	18,8	11	42,4	3	48,4	59,3	9814	1100
185	12	20,2	10,6	43	3	49	59,9	10 326	1050
240	12,4	22,1	10,6	44,9	3	50,9	61,8	11 103	1000
270	12,0	23,2	10	44,8	3	50,8	61,7	11 492	1000
300	12,4	24	10	45,6	3	51,6	62,7	11 816	950
350	12	25,6	10	47,2	3	53,2	64,1	12 754	950
400	12	26,8	9,8	48	3	54	64,9	13 415	800
500	12	29,4	9,8	50,6	3,3	57,2	68,1	15 597	800
550	14,4	31,6	9,8	52,8	3,3	59,4	70,3	16 443	800
625	12	32,4	9,6	53,2	3,3	59,8	70,7	17 322	700
800	14,5	39,6	9,6	60,4	3,3	67	77,9	20 579	600

Примечания: 1. Числитель — диаметр проволок брони 4 мм, знаменатель — 6 мм.

2. Строительные длины кабелей должны быть согласованы с заводом-изготовителем при разработке проекта.

Таблица 1.45. **Технические данные кабелей 110—220 кВ высокого давления**

Сечение жилы, мм^2	Диаметр жилы, мм	Толщина изоляции, мм	Диаметр по проволокам скольжения, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм	Масса, кг/км	
						кабеля	оболочки
Кабель марки МВЛТ-110							
120	14,1	12,4	45,8	2,6	53	8621	4910
150	15,8	11,8	46,3	2,6	53,5	8959	4960
185	17,6	11,3	47,1	2,6	54,3	9397	5040
240	20	10,7	48,3	2,8	55,1	10 073	5170
270	21,4	10,5	49,3	2,8	56,1	10 576	5275
300	22,4	10,5	50,3	2,8	57,5	11 402	5780
400	26,1	10	53	2,8	60,2	12 856	6070
500	29,1	9,8	55,6	2,8	62,8	14 233	6340
550	30,4	9,8	56,9	2,8	61,1	16 011	6480
625	32,7	9,6	58,8	2,8	66	16 983	6680
700	34,4	9,6	60,5	2,8	67,7	17 925	6860
Кабель марки МВДТ-220							
300	22,4	20,7	70,7	3,3	79,3	17 925	9400
400	26,1	19,1	71,2	3,3	79,8	18 905	9460
500	29,1	18,1	72,2	3,3	80,8	19 978	9590
550	30,4	18,1	73,5	3,3	82,1	20 616	9750
625	32,7	17,5	74,6	3,3	83,2	21 692	9890
700	34,4	17,5	76,3	3,3	84,9	22 711	—

Примечание. Строительная длина кабеля должна быть согласована с заводом-изготовителем при разработке проекта.

Таблица 1.46. **Допустимые токи нагрузки, А, кабелей высокого напряжения низкого давления марки МНСА**

ρ, м·К/Вт	$k_{нагр}$	Сечение жилы, мм^2, при напряжении													
		110 кВ								220 кВ					
		150	185	240	270	400	500	625	800	300	400	500	550	625	800
Одноцепная линия. Кабели укладываются впритык треугольником															
0,8	0,8	430	490	550	590	700	770	850	930	540	610	670	700	750	800
0,8	1	380	420	480	510	600	660	720	790	470	540	580	610	640	670
1,2	0,8	380	420	480	500	600	660	710	780	450	510	550	570	590	630
1,2	1	320	360	410	430	510	550	600	650	390	430	470	480	500	530
1,6	0,8	340	370	420	450	530	570	620	670	390	430	460	470	480	510
1,6	1	280	310	360	370	440	470	510	560	330	360	390	400	400	420
Двухцепная линия, проложенная в земле. Кабели укладываются впритык треугольником															
0,8	0,8	410	460	520	550	660	720	790	860	500	570	620	650	670	730
0,8	1	330	370	420	440	520	570	620	670	410	460	490	510	530	560
1,2	0,8	350	390	440	470	550	610	660	710	410	460	490	510	530	560
1,2	1	280	310	350	370	430	470	600	540	320	350	370	380	390	410
1,6	0,8	310	320	390	410	480	520	560	610	340	380	400	410	410	420
1,6	1	240	230	300	310	370	400	420	450	250	280	280	280	280	280
Одноцепная линия, проложенная в воздухе. Кабели укладываются треугольником с зазором (l=250 мм)															
—	0,8	510	580	660	710	880	990	1100	1250	620	730	820	860	920	1030
—	1	450	510	580	620	760	860	960	1030	570	660	740	770	820	920

Таблица 1.47. **Допустимые токи нагрузки маслонаполненных кабелей низкого давления марки МНСК в процентах допустимых токов нагрузки кабелей марки МНСА и в зависимости от материала бронирующих проволок**

Материал бронирующих проволок, допустимый ток	Напряжение, кВ													
	110								220					
	Сечение жилы, мм²													
	150	185	240	270	400	500	625	800	300	400	500	550	625	800
Бронирующие проволоки диаметром 6 мм, шт.														
Стальные	28	29	29	29	30	31	33	35	40	41	41	41	42	43
Медные	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Допустимый ток	94	93	92	91	89	87	85	84	94	92	91	91	90	90
Бронирующие проволоки диаметром 4 мм, шт.														
Стальные	40	41	42	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Медные	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Допустимый ток	91	89	86	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 1.48. **Допустимые токи нагрузки, А, кабелей высокого напряжения низкого давления марок МНАШв и МНАгШв**

Соединение и заземление оболочек	ρ, м·К/Вт	$k_{нагр}$	Сечение жилы, мм², и вид оболочки							
			Гладкая				Гофрированная			
			150	185	240	270	400	500	625	800
Одноцепная линия, проложенная в земле. Кабели укладываются треугольником (без зазора)										
С двух концов линии	0,8	1	3*	390	430	450	540	580	620	660
	1,2	1	310	330	370	380	450	480	520	540
	1,6	1	270	290	320	330	390	420	440	450
	0,8	0,8	410	450	500	530	630	680	730	780
	1,2	0,8	360	390	430	450	530	580	610	650
	1,6	0,8	320	340	380	400	470	500	530	560
Двухцепная линия, проложенная в земле. Кабели укладываются треугольником (без зазора)										
	0,8	1	320	340	380	400	470	500	530	560
	1,2	1	270	280	310	330	380	410	430	450
	1,6	1	230	240	270	280	330	350	360	380
	0,8	0,8	390	430	470	490	590	630	680	720
	1,2	0,8	330	360	400	420	490	530	560	590
	1,6	0,8	290	320	340	370	430	450	480	510
Одноцепная линия, проложенная в воздухе. Кабели укладываются треугольником (без зазора)										
	—	1	420	470	530	560	690	750	830	900
Одноцепная линия, проложенная в воздухе. Кабели укладываются треугольником (с зазором) (l=250 мм)										
	—	1	430	480	540	560	660	710	770	840

Продолжение табл. 1.48

Соединение и заземление оболочек	ρ, м·К/Вт	$k_{нагр}$	Сечение жилы, мм², и вид оболочки							
			Гладкая				Гофрированиая			
			150	185	240	270	400	500	625	800
	Одноцепная линия, проложенная в земле. Кабели укладываются треугольником (без зазора)									
С одного конца линии	0,8	1	380	420	480	510	630	700	800	880
	1,2	1	320	360	410	430	530	660	700	730
	1,6	1	290	310	360	380	460	510	570	630
	0,8	0,8	430	490	550	580	720	810	910	1020
	1,2	0,8	380	420	480	510	620	690	780	860
	1,6	0,8	320	370	420	450	550	610	680	760
	Двухцепная линия, проложенная в земле. Кабели укладываются треугольником (без зазора)									
	0,8	1	330	370	420	450	550	610	680	760
	1,2	1	280	310	350	370	450	500	560	610
	1,6	1	240	270	300	320	390	430	470	510
	0,8	0,8	410	460	520	550	680	760	850	950
	1,2	0,8	350	390	450	470	580	640	720	800
	1,6	0,8	310	350	400	410	510	560	620	680
	Одноцепная линия, проложенная в воздухе. Кабели укладываются треугольником (без зазора)									
	—	1	450	510	580	620	780	890	1010	1160
	Одноцепная лнння, проложенная в воздухе. Кабели укладываются треугольнником (с зазором) (l=250 мм)									
	—	1	500	560	640	690	860	990	1130	1310

Примечание. Для кабелей с утолщенным защитным шлангом марок МНАШву и МНАгШву допустимые токи нагрузки должны быть уменьшены на 20 А по сравнению с соответствующими значениями для кабелей марок МНАШв и МНАгШв. $\rho_т$ — удельное тепловое сопротивление грунта; $k_{нагр}$ — коэффициент заполнения суточного графика нагрузки.

Таблица 1.49. **Допустимые токи нагрузки, А, кабелей высокого давления 110—220 кВ марки МВТД**

ρ, м·К/Вт	$k_{нагр}$	Длина участка, м	Сечение жилы, мм², при напряжении											
			110 кВ							220 кВ				
			150	185	240	270	400	500	625	300	400	500	550	625
Одноцепная линия, проложенная в земле. При отсутствии продольной циркуляции масла														
0	0,8	—	370	410	480	510	620	680	750	490	560	610	630	650
0,8	1	—	330	370	420	450	540	590	650	430	490	540	550	570
1,2	0,8	—	340	370	430	450	550	600	660	420	480	510	530	540
1,2	1	—	300	330	370	390	470	520	560	370	420	450	460	470
1,6	0,8	—	310	340	390	410	490	540	590	370	410	440	450	450
1,6	1	—	210	290	330	350	420	460	490	320	360	370	380	390

Продолжение табл. 1.49

ρ, м·К/Вт	$k_{нагр}$	Длина участка, м	Сечение жилы, мм², при напряжении											
			110 кВ							220 кВ				
			150	185	240	270	400	500	625	300	400	500	550	625
Одноцепная линия, проложенная в земле. При продольной циркуляции масла со скоростью 0,1 м/с														
0,8	1	300	440	500	590	630	800	910	1030	650	770	870	910	980
0,8	1	600	400	450	530	560	710	810	920	600	720	800	840	890
0,8	1	1000	370	420	480	520	650	740	830	560	660	740	770	810
1,2	1	300	440	500	590	620	800	910	1030	640	770	870	910	970
1,2	1	600	390	440	520	560	700	800	910	600	710	800	830	880
1,2	1	1000	360	400	470	500	630	720	810	550	650	720	750	800
1,6	1	300	440	500	580	630	800	910	1030	640	770	870	910	970
1,6	1	600	390	440	520	550	700	800	900	590	710	790	830	880
1,6	1	1000	350	400	460	490	620	710	800	540	650	720	750	790
Двухцепная линия, проложенная в земле. При отсутствии продольной циркуляции масла														
0,8	0,8	—	350	390	450	480	580	640	700	450	520	560	580	590
0,8	1	—	300	330	370	390	470	520	560	400	450	490	500	520
1,2	0,8	—	320	350	400	420	510	560	610	380	430	460	470	480
1,2	1	—	260	290	320	340	400	440	470	330	370	390	400	410
1,6	0,8	—	290	320	360	380	450	500	530	330	360	370	380	380
1,6	1	—	230	250	280	300	350	380	410	280	310	320	320	320
Двухцепная линия, проложенная в земле. При продольной циркуляции масла со скоростью 0,1 м/с														
0,8	1	300	420	470	550	590	750	850	970	630	760	850	890	950
0,8	1	600	370	420	490	520	650	740	840	580	690	770	810	850
0,8	1	1000	340	380	440	470	590	660	740	530	630	700	730	770
1,2	1	300	420	470	550	590	750	850	970	630	760	850	890	950
1,2	1	600	360	410	470	510	640	730	830	570	690	770	800	850
1,2	1	1000	320	370	420	450	570	640	730	620	620	690	720	750
1,6	1	300	410	470	540	590	750	850	970	630	760	850	890	950
1,6	1	600	360	400	470	500	640	730	830	570	680	760	800	840
1,6	1	1000	320	360	410	440	550	630	710	520	620	680	710	740

Примечание. Расстояние между центрами параллельных линий при расчете взаимного теплового влияния принято равным 800 мм.

Таблица 1.50. **Допустимые токи нагрузки, А, кабелей высокого давления 110—220 кВ марки МВТД, проложенных в воздухе**

$U_{ном}$, кВ	$K_н$	Сечение жилы, мм²								
		150	185	240	270	300	400	500	550	625
110	1	420	470	550	590	—	730	830	—	920
220	1	—	—	—	—	530	630	700	730	770

Примечание. Нагрузки приведены без учета теплового влияния параллельных линий.

Таблица 1.51. **Допустимые токи нагрузки, А, кабелей 110 кВ с пластмассовой изоляцией**

Номинальное сечение, мм²	Прокладка в земле. Кабели прокладываются треугольником (без зазора)								Прокладка на воздухе впритык треугольником
	Одноцепная линия				Двухцепная линия				
	ρ = 1,2 м·К/Вт*		ρ = 1,6 м·К/Вт**		ρ = 1,2 м·К/Вт*		ρ = 1,6 м·К/Вт**		
	$k_{нагр}=0,8$	$k_{нагр}=1$	$k_{нагр}=0,8$	$k_{нагр}=1$	$k_{нагр}=0,8$	$k_{нагр}=1$	$k_{нагр}=0,8$	$k_{нагр}=1$	
350	555	475	500	420	525	445	470	390	680
500	680	575	610	505	635	530	565	465	830
625	750	635	665	550	695	580	615	500	920

* Подушка засыпается специальным грунтом.
** Подушка засыпается обычным грунтом.

Примечание. При расчетах принято: температура земли 15 °С, температура воздуха 25 °С.

Таблица 1.52. **Допустимые токи короткого замыкания маслоиаполненных кабелей 110 кВ**

Время, с	Токи короткого замыкания, кА, при сечении жилы, мм²									
	120	150	185	240	270	300	400	500	625	800
0,1	41,5	52,8	63,1	83,4	94,4	104,4	139,2	174,3	218	279,2
0,2	29,4	37,4	44,6	58,9	66,7	73,8	98,4	123,2	154,1	197,3
0,3	23,9	30,5	36,4	48,1	54,5	60,3	80,4	101	126	161
0,4	20,7	26,4	31,5	41,7	47,2	52,2	69,6	87,1	109	140
0,5	18,6	23,6	28,2	37,3	42,2	46,7	62,3	77,9	97,5	125
0,6	16,9	21,6	25,7	34	38,5	42,6	56,8	71,1	89	114
0,7	15,7	20	23,8	31,5	35,7	39,5	52,6	65,9	82,4	106
0,8	14,7	18,7	22,3	29,5	33,4	36,9	49,2	61,6	77,1	98,7
0,9	13,8	17,6	21	27,8	31,5	34,8	46,4	58,1	72,7	93,1
1	13,1	16,7	19,9	26,4	29,8	33	44	55,1	68,9	88,3
1,5	10,7	13,6	16,3	21,5	24,4	27	35,9	45	56,3	72,1
2	9,28	11,8	14,1	18,6	21,1	23,3	31,1	39	48,8	62,4

Таблица 1.53. **Допустимые токи короткого замыкания кабелей 110 кВ с пластмассовой изоляцией**

Номинальное сечение, мм²	Ток короткого замыкания, кА, при длительности короткого замыкания, с							
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	3,0
350	53,2	47,6	43,4	40,2	37,6	33,6	27,5	19,4
500	75,9	67,9	62,0	57,4	53,7	48,0	39,2	27,7
625	94,8	84,8	77,5	71,7	67,1	60,0	49,0	34,7

Таблица 1.54. **Допустимые токи короткого замыкания медного экрана при повреждении кабеля**

Время, с	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	3,0
$I_к$, кА	36,2	29,6	25,6	20,9	18,2	16,2	14,7	13,6	12,8	11,4	9,3	6,6

1.16. АРМАТУРА И АППАРАТУРА ПОДПИТКИ ДЛЯ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ 110—220 кВ

В комплект поставки кабелей входят концевые, соединительные, стопорные, соединительно-разветвительные, разветвительные муфты, кабельные вводы в трансформатор и маслоподпитывающая аппаратура.

МУФТЫ КАБЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Концевые муфты предназначены для вывода из кабеля токопроводящей жилы. Муфты выпускаются двух типов — концевые открытого типа для работы в наружных установках и закрытого типа для работы внутри помещений. Конструктивно эти муфты различаются только устройством внешней изоляции. Муфтам присвоена марка МКМН-110 — муфта концевая для маслонаполненного кабеля низкого давления на 110 кВ.

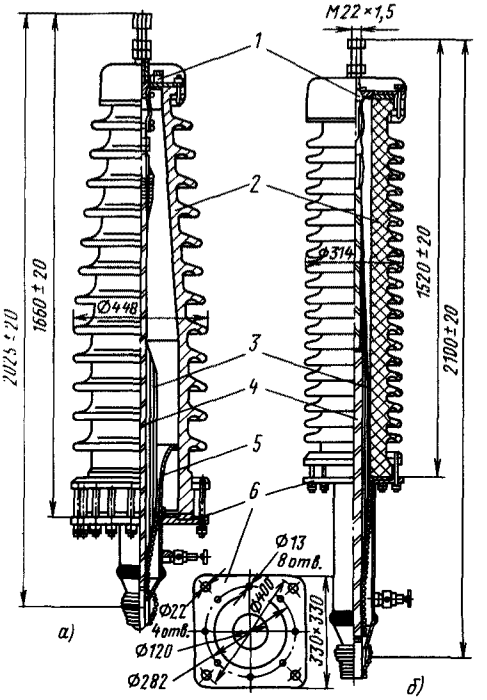


Рис. 1.34. Концевая муфта кабеля низкого давления на напряжение 110 кВ марки МКМН-110: *а* — с коиусиым фарфоровым изолятором; *б* — с цилиидрическим фарфоровым изолятором; *1* — токовывод; *2* — фарфоровый изолятор; *3* — изоляция (подмотка) муфты; *4* — изоляция кабеля; *5* — внутренний экран; *6* — корпус муфты (опорная плита с хвостовиком)

Основными элементами муфты являются: токовывод, наружная изоляция, внутренняя изоляция, верхняя часть муфты, иижняя опорная часть муфты, экраны и электроды для регулирования электрического поля (рис. 1.34).

Концевые муфты на напряжение 220 кВ (рис. 1.35) отличаются от муфт на напряжение 110 кВ тем, что наружная изоляция выполняется из двух фарфоровых изоляторов, соединяемых между собой. При этом верхний экран муфты выполнен из гнутых металлических прутков, образующих сферу.

Соединительные муфты предназначены для электрического соединения кабелей. Муфтам присвоена марка МСМН-110 — муфта соединительная маслонаполненного кабеля ни-

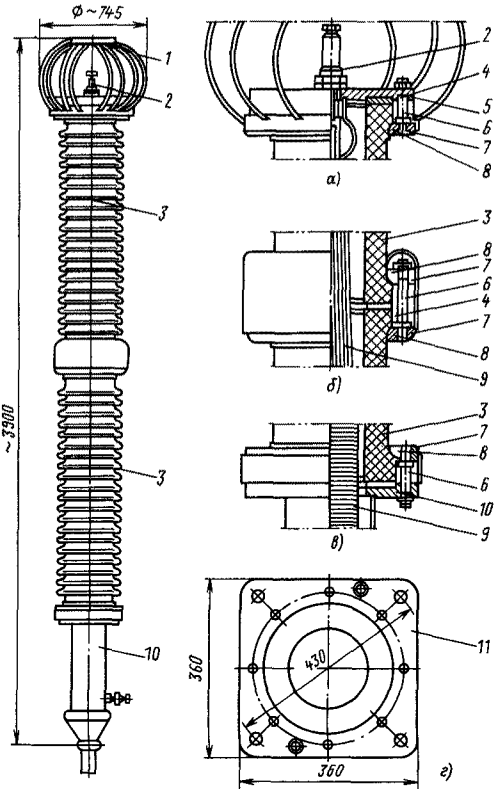


Рис. 1.35. Концевая муфта кабеля иизкого давления иа напряжение 220 кВ:
а — верхняя часть муфты; *б* — соединенне фарфоровых изоляторов; *в* — нижняя часть муфты; *г* — опориая плита; *1* — экран; *2* — токовывод; *3* — фарфоровый изолятор; *4* — армированиая прокладка; *5* — верхняя плита; *6* — шпилька; *7* — кольцо; *8* — полукольцо; *9* — подмотка конца кабеля; *10* — хвостовик; *11* — нижняя опорная плнта

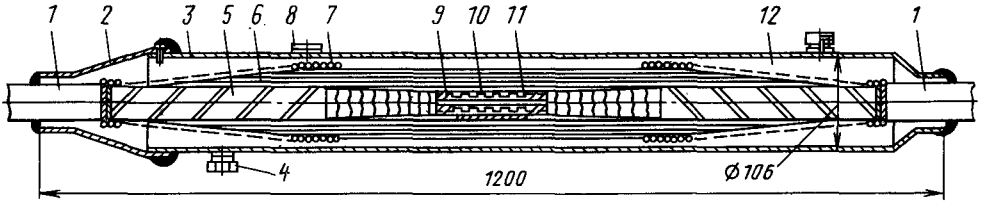
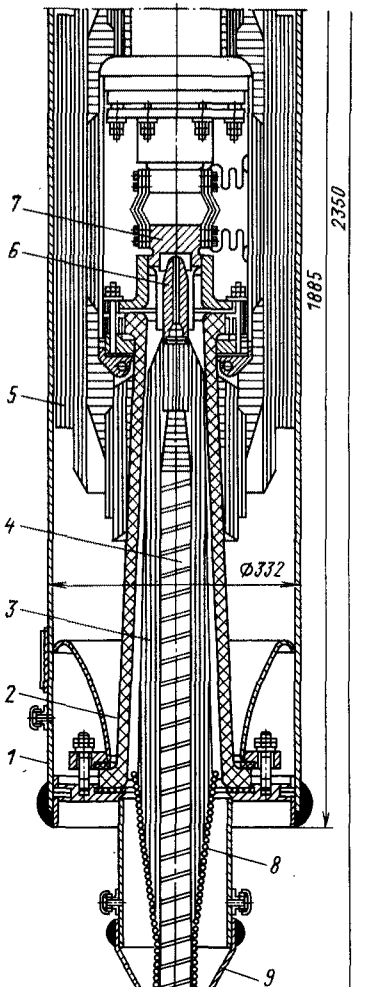


Рис. 1.36. Соединительная муфта кабеля иизкого давления на напряжение 110 кВ марки МСМН-110:
1 — оболочка кабеля; *2* — раструб; *3* — корпус муфты; *4* — заглушка; *5* — заводская изоляция кабеля; *6* — изоляция (подмотка) муфты; *7* — экран; *8* — пластина заземления; *9* — опорная трубка; *10* — жила кабеля; *11* — соединительная гильза; *12* — масло



зкого давления на напряжение 110 кВ (рис. 1.36). Конструкции муфт для кабеля на напряжение 220 кВ отличаются от конструкций муфт для кабеля 110 кВ только внутренней изоляцией и размерами.

Стопорные муфты представляют собой наиболее сложный элемент кабельной линии. В стопорной муфте электрически соединяются токопроводящие жилы двух строительных длин и герметически разделяется масло двух соединяемых кабелей.

Выпускаются муфты марок МСТМН-110 — муфта стопорная с бумажной изоляцией (рис. 1.37) и МСТМНЭ-110 — то же, но с бумажно-эпоксидной изоляцией (рис. 1.38).

Стопорная муфта с бумажно-эпоксидной изоляцией менее материалоемка и трудоемка при изготовлеиии, имеет меньший диаметр и длину, а масса примерно в 2 раза меньше в сравнении с массой стопорной муфты с бумажной изоляцией.

Кабельный ввод в трансформатор предназначен для непосредственного ввода кабелей в трансформатор. Электрическое соединеиие вывода траисформатора с концевой муфтой кабеля производится в промежуточной камере трансформатора, заполненной маслом (рис. 1.39).

Выпускаются кабельные вводы на напряжение 110 кВ марки КТНДУ-110 — ввод кабельный в траисформатор низкого давления унифицированный. Вводы поставляются только к трансформаторам ТРДЦНК 63000/110 и ТРДЦНК 80000/110.

Рис. 1.37. Стопорная муфта кабеля низкого давления на напряжение 110 кВ марки МСТМН-110 с бумажной изоляцией:
1 — корпус муфты; *2* — фарфоровый изолятор; *3* — изоляция конца кабеля; *4* — изоляция кабеля; *5* — изоляция центральной части; *6* — коитактный наконечник; *7* — контактное гнездо; *8* — экран; *9* — раструб; *10* — металлическая оболочка кабеля

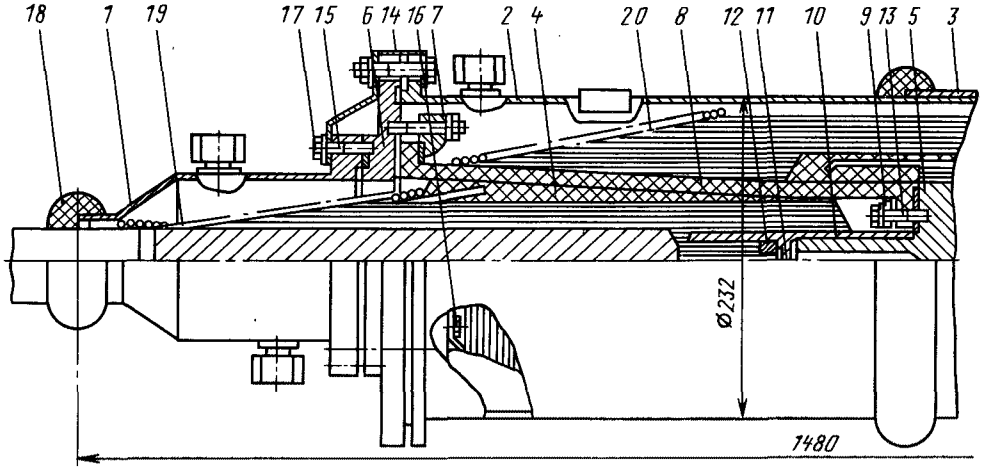


Рис. 1.38. Стопорная муфта кабеля низкого давления на напряжение 110 кВ марки МСТМНЭ-110 с бумажно-эпоксидной изоляцией:
1 — кожух конца муфты; *2* — полукожух I; *3* — полукожух II; *4* — кольцевой экран; *5* — центральный экран; *6* — фланец кожуха; *7* — фланец изолятора; *8* — эпоксидный изолятор; *9* — кольцо; *10* — гильза; *11* — клапан; *12* — трубка гильзы; *13, 15, 16* — болты; *14* — пластина; *17* — шайба; *18* — пайка; *19* — экран конусной части подмотки; *20* — экран центральной части муфты

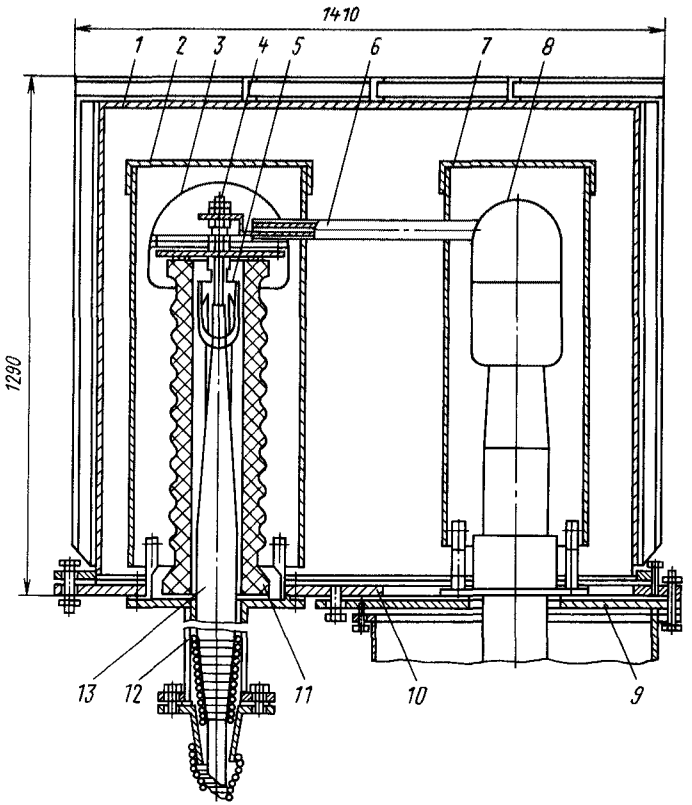


Рис. 1.39. Кабельный ввод низкого давления в трансформатор на напряжение 110 кВ марки КТНДУ-110:
1 — кожух ввода; *2* — барьерная изоляция; *3* — наружный экран концевой муфты ввода с изоляцией из лент лакоткани; *4* — токовывод; *5* — внутренний экран муфты; *6* — токовое соединение; *7* — барьерная изоляция проходного ввода; *8* — проходной ввод трансформатора; *9* — верхняя плита трансформатора; *10* — опорная плита ввода; *11* — фарфоровый изолятор; *12* — корпус муфты; *13* — изоляция кабельного ввода

Кабельный ввод в трансформатор состоит из концевой кабельной муфты, проходного ввода в трансформатор, токового соединительного устройства, кожуха ввода, изоляционной системы внутри кожуха (масло, изоляционные барьеры, экраны). Для заливки ввода используется трансформаторное масло. Барьерная изоляция выполняется из бакелитовых цилиндров.

МУФТЫ КАБЕЛЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Концевые муфты предназначены для вывода токопроводящей жилы кабелей. Марка КМВДТ-110 — муфта концевая для маслонаполненного кабеля высокого давления на напряжение 110 кВ.

Соединительно-разветвительные муфты предназначеиы для соединиения кабеля строительных длин в месте перехода магистрального стального трубопровода к фазовым разветвлениям, идущим к концевым муфтам или вводам в трансформаторы.

Эти муфты применяют при сложной разводке медными разветвительными трубами к концевым муфтам или при большом расстоянии концевых муфт от стального трубопровода. Марка СРМВДТ — муфта соединительно-разветвительная для маслонаполненного кабеля высокого давления.

Соединительные муфты предназначены для соединения кабеля строительных длин. Марка СМВДТ — муфта соединительная для маслонаполненного кабеля высокого давления.

Разветвительные муфты предназначены для разводки фаз кабеля от стального трубопровода к концевым муфтам. Применяются в тех случаях, когда фазовые разветвления сравнительно короткие и не требуется установка соединительно-разветвительных муфт. Марка РМВДТ — муфта разветвительная для маслонаполненного кабеля высокого давления.

Маслоподпитывающая аппаратура служит для поддержанння на необходимом уровне давления в маслонаполненных кабельных линиях низкого и высокого давления.

Для кабельных линий низкого давления применяются баки давления. Их устройство представлено на рис. 1.40. Бак давления состоит из стального корпуса, в котором размещается сильфонная батарея, состоящая из сильфонных элементов, внутри которых находится газ под избыточным давлением до 0,025 МПа.

На кабельных заводах баки давления вакуумируются и заполняются маслом марки МН-4 до требуемого давления. Давление масла в баке, а следовательно, н в линии, в месте присоединения бака, одинаковое. В установив-

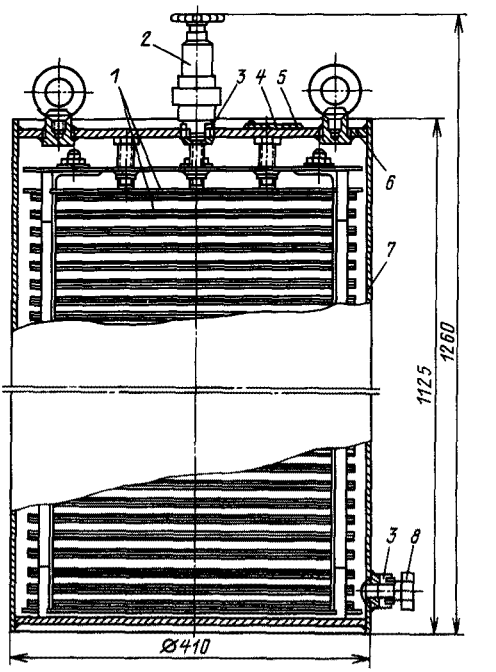


Рис. 1.40. Бак давления БД6-0,25 для маслонаполненного кабеля низкого давления:
1 — батарея сильфонных элементов; *2* — вентиль сильфонный; *3* — прокладка; *4* — марка; *5* — винт; *6* — крышка бака; *7* — корпус бака; *8* — заглушка

шемся режиме это давлеиие будет определяться объемом масла в баке и характеристиками баков давлення. Зависимость масла в баке от давления представлена на рис. 1.41.

Количество баков, необходимое для подпитки кабельной линии, а также места размещения пунктов подпитки определяется расчетом.

Пример расчета маслоподпитки приведен в § 1.19.

Выпускаются баки давлеиия типов БД6 и БД7 (рис. 1.40). Баки БД6 являются основными, БД7 — доборными. Отдача масла баками при изменении избыточного давления от 0,294 до 0,0245 МПа при температуре 20 °С составляет для бака БД6 55 л, а для бака БД7 — 34 л.

Понижение или повышение давления фиксируют контактные манометры, устанавливаемые у баков давления. Их сигналы передаются по контрольным кабелям на диспетчерский пункт.

Для кабельных линий высокого давления применяются автоматическне подпитывающие насосные установки. Основными элементами установки являются: бак для хранеиия масла под вакуумом, масляный насос, нагнетающий

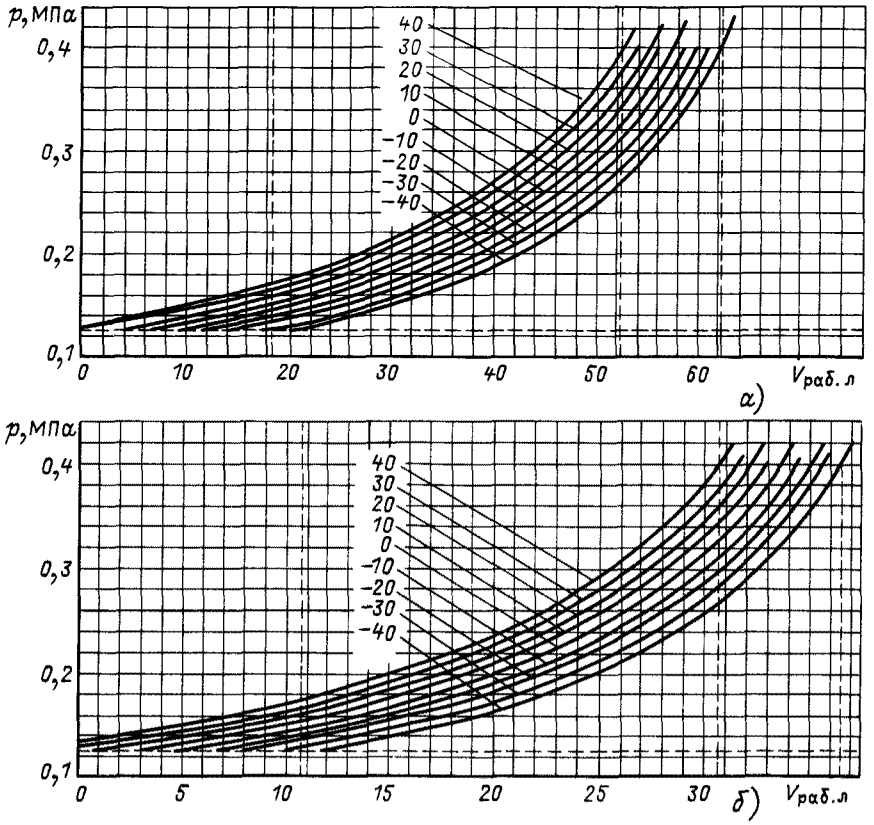


Рис. 1.41. Объемные характеристики баков давления:
а — типа БД6-0,25; *б* — типа БД7-0,25

масло в линию при снижении давления в ней до 1,4 МПа, перепускной вентиль, пропускающий масло из линии в бак, если давление становится выше 1,6 МПа.

Подпитывающая установка оборудована автоматической сигнализацией на случай аварийного понижения или повышения давления в линии.

1.17. АРМАТУРА ДЛЯ КАБЕЛЕЙ 110 кВ С ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Для сооружения кабельных линий совместно с кабелями поставляются концевые и соединительные муфты.

Концевые муфты предназначены для вывода из кабеля токопроводящей жилы. Марка МКАПвП-2-64/110 — муфта концевая для кабеля с алюминиевой жилой с изоляцией из вулканизированного полиэтилена толщиной 10 мм в оболочке из полиэтилена на напряжение 64/110 кВ. Основными элементами концевой муфты являются: токовывод, фарфоровый изолятор, сетчатый экран, армирующие фланцы, верхняя плита, опорная плита, герметизирующие втулки, уплотнительные прокладки и масляный компенсатор. Концевые муфты должны устанавливаться вертикально.

Концевые муфты после монтажа должны заполняться маслом 1МС-50 по ГОСТ 13032—77*.

Концевые муфты предназначены для работы без давления масла при температуре окружающей среды от минус 50 °С до плюс 50 °С при относительной влажности воздуха до 98 % при температуре до 35 °С.

Соединительные муфты предназначены для электрического соединения кабеля строительных длин. Марка МСАПвП-2-64/110 — муфта соединительная для кабеля с алюминиевой жилой с изоляцией из вулканизированного полиэтилена толщиной 10 мм в оболочке из полиэтилена на напряжение 64/110 кВ.

Муфта соединительная состоит из усиливающей изоляции, наложенной на место сое-

динения жил кабелей, и экранов поверх усиливающей оболочки.

1.18. СПОСОБЫ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ И ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЕЙ

При выборе способов прокладки кабельных линий низкого напряжения (до 35 кВ) необходимо руководствоваться следующим:

1) в кабельной траншее рекомендуется прокладывать не более шести силовых кабелей. Такой способ прокладки является наиболее простым и наименее трудоемким (рис. 1.42).

Недостатками этого способа являются: механические повреждения и коррозия кабелей; ручное вскрытие земли при ремонте или замене кабелей в зимнее время года; значительные площади, занимаемые траншеями.

При прокладке в траншеях кабели должны иметь снизу подсыпку, а сверху — засыпку слоем мелкой земли, не содержащей камней, строительного мусора и шлака.

Кабели 35 кВ на всем протяжении должны быть защищены от механических повреждений железобетонными плитами толщиной не менее 50 мм; при напряжении ниже 35 кВ — плитами или глиняным обыкновенным кирпичом в один слой поперек трассы кабелей.

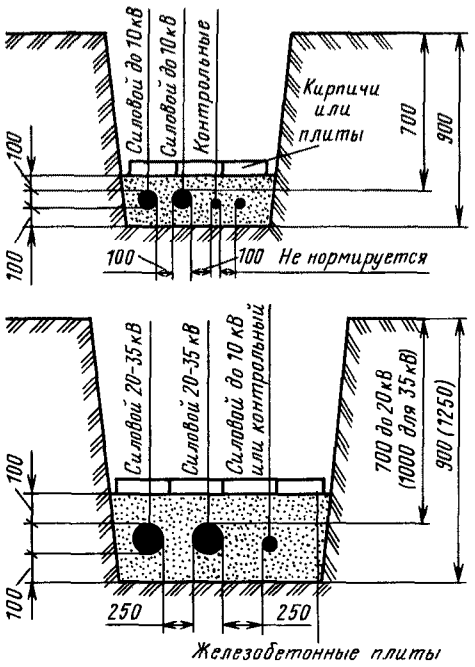


Рис. 1.42. Прокладка кабелей до 35 кВ в траншеях

При прокладке на глубине 1—1,2 м кабели напряжением 20 кВ и ниже (кроме кабелей городских электросетей) допускается не защищать от механических повреждений.

Кабели напряжением до 1 кВ должны иметь такую защиту лишь на участках, где вероятны механические повреждения (например, в местах частых раскопок);

2) прокладка силовых кабелей при числе их в потоке более шести выполняется по галереям, эстакадам, в туннелях, каналах.

Прокладка кабелей по эстакадам и в галереях является наиболее прогрессивной (рис. 1.43). К преимуществам такого способа относятся: длительная сохранность оболочек кабеля из-за отсутствия разрушающих факторов, которые часто имеют место в грунте (химические реагенты, почвенная коррозия, блуждающие токи), удобство монтажа и эксплуатации, возможность ведения электромонтажных работ по сооружению кабельных линий до выполнения планировки территории предприятия, меньшие капитальные затраты по сравнению с прокладкой кабелей в каналах и особенно в туннелях при соответствующих количествах кабелей в потоке, малая вероятность механических повреждений.

Галереи и эстакады выполняются из сборных железобетонных конструкций по типовым чертежам, разработанным Ленинградским Промстройпроектом и Ленинградским отделением ЦНИИпроектстальконструкция (серия 3.016.1—4, выпуски 1, 2).

Допускаемые расстояния от эстакад и галерей до зданий и сооружений принимаются в соответствии с гл. 2.3 ПУЭ.86.

При проектировании эстакад и галерей на предприятиях нефтехимической промышленности со взрывоопасными производствами и зонами необходимо руководствоваться гл. 7.3 ПУЭ.86 в части габаритов приближения, пересечений с технологическими эстакадами, прокладки кабелей по ним.

По эстакадам с трубопроводами с горючими газами и ЛВЖ помимо кабелей для собственных нужд (управление задвижками, сигнализация, диспетчеризация и т. п.) допускается прокладывать до 30 бронированных и небронированных силовых и контрольных кабелей. Небронированные кабели должны прокладываться в стальных трубах или в стальных коробах.

При числе кабелей более 30 следует прокладывать их по кабельным эстакадам или галереям. Допускается сооружать кабельные эстакады и галереи на общих строительных конструкциях с трубопроводами с горючими газами и ЛВЖ при выполнении противопожарных мероприятий.

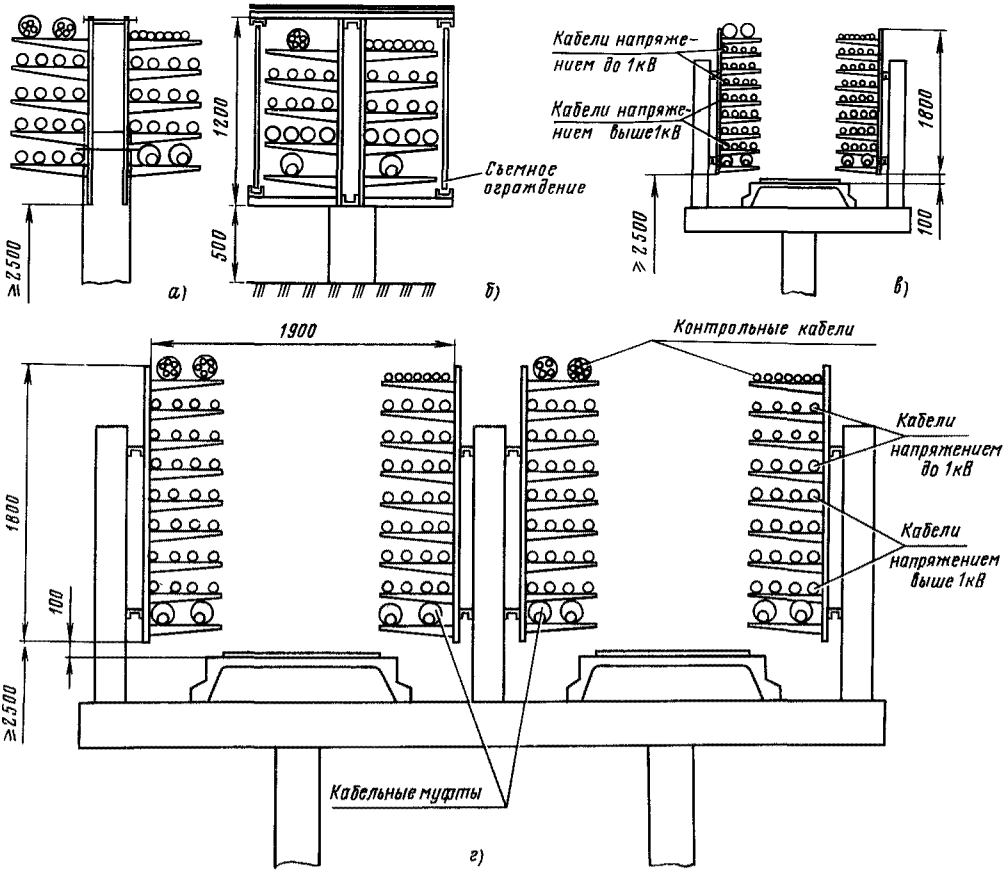


Рис. 1.43. Прокладка кабелей до 35 кВ на эстакадах и в галереях:
а — эстакада; *б* — эстакада на низких стойках с беспролетным строением; *в* — галерея; *г* — галерея сдвоенная

Ввод кабелей в электротехнические помещения, здания и сооружения рекомендуется выполнять в трубах непосредственно с эстакад и галерей через проемы в стене или непосредственно по конструкциям при вводе кабелей в кабельный полуэтаж ЗРУ 10 кВ.

Прокладка кабелей в туннелях может быть рекомендована при отсутствии возможности сооружения галереи или эстакады (рис. 1.44).

Сооружение туннелей требует больших капитальных вложений и часто трудновыполнимо из-за наличия разветвленных инженерных сетей, проложенных на разных отметках.

При проектировании кабельных туннелей необходмо предусматривать противопожарные мероприятия в соответствии с ПУЭ и СНиП.

Прокладка кабелей в каналах. Различают два вида кабельных каналов — заглубленные (подземные) и выступающие, выполняемые из сборного железобетона по типовым чертежам, разработанным Харьковским институтом «ПромстройНИИпроект».

Выступающие каналы сооружают на 150—300 мм (рис. 1.45) над планировочными отметками, заглубленные — на 300—700 мм ниже планировочных отметок.

На предприятиях химической промышленности, где имеются тяжелые газы, применение выступающих каналов недопустимо.

К недостаткам выступающих каналов можно отнести разрушение плит перекрытия и стен при наезде на них автотранспорта и повреждение при этом проложенных кабелей. Кроме того, на предприятиях химической промышленности возможны попадания в такие каналы щелочей и кислот, заиливание дренирующих устройств и скопление в связи с этим агрессивных растворов.

Сооружение выступающих каналов намного проще и экономичнее заглубленных. Эксплуатация их значительно легче.

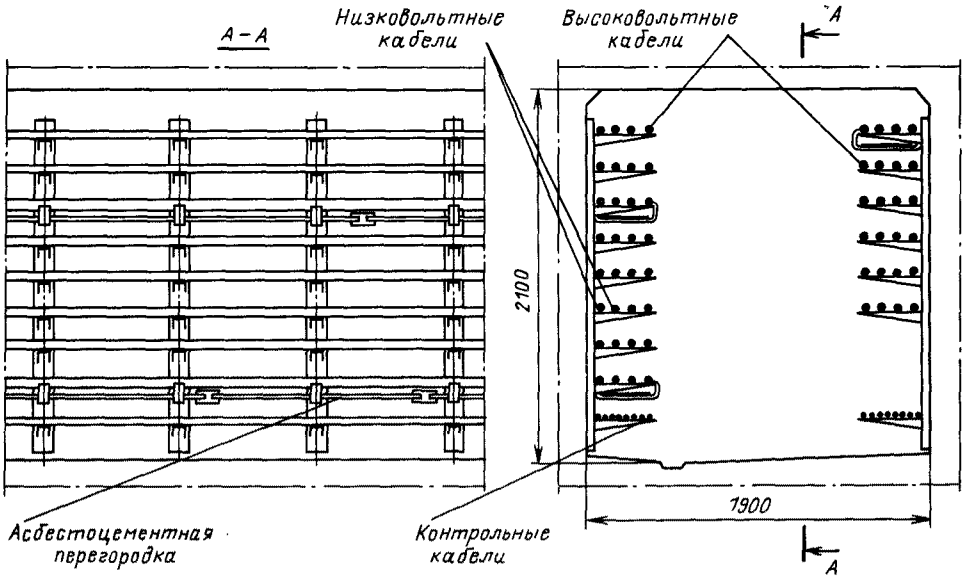


Рис. 1.44. Прокладка кабелей до 35 кВ в туннелях

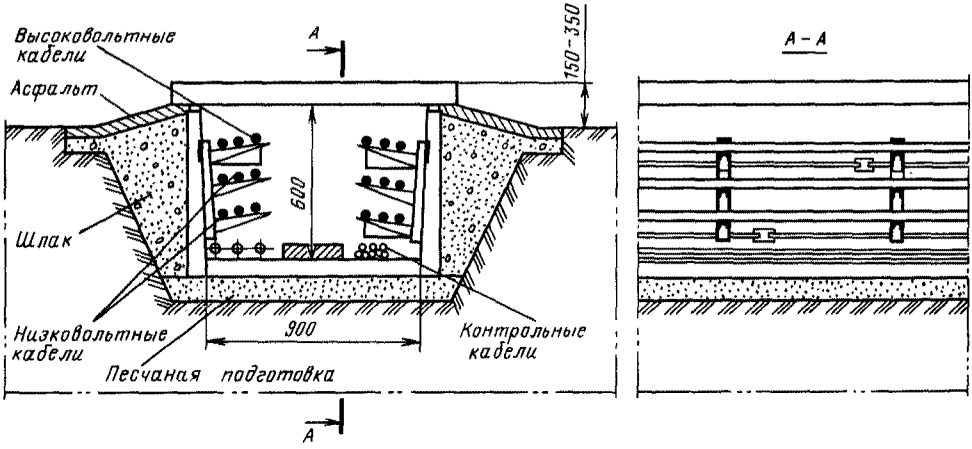


Рис. 1.45. Прокладка кабелей до 35 кВ в выступающем канале

Заглубленные каналы помимо повышенной стоимости имеют ряд существенных недостатков:

1) необходимость выполнения принудительной или естественной вентиляции для создания нормальных температурных условий и исключения скопления тяжелых взрывоопасных газов. При соответствующем обосновании и на территориях с отсутствием тяжелых взрывоопасных газов могут выполняться заглубленные каналы без вентиляции. При этом пропускная способность кабелей должна быть снижена;

2) неудобство монтажа и эксплуатации кабелей в зимнее время года, связанное с открытием канала;

3) трудности с заглублением каналов, поскольку на отметках от 0,5 до 3,0 м размещается большинство инженерных сетей.

Прокладка кабелей в блоках. Такой вид прокладки (рис. 1.46) является наиболее неэкономичным с точки зрения расхода цветного

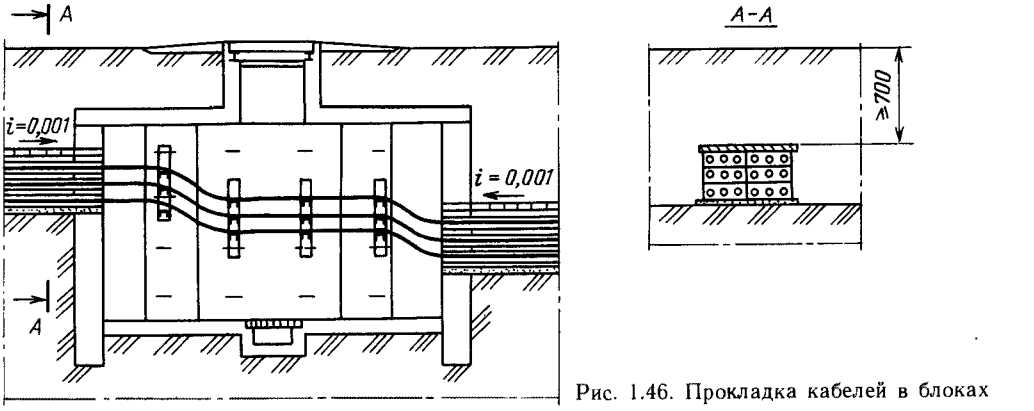


Рис. 1.46. Прокладка кабелей в блоках

металла и трудоемкости монтажа. Для изготовления кабельных блоков рекомендуется применять железобетонные панели, железобетонные или асбестоцементные трубы.

Выбор конструкции кабелей. Для кабельных линий, прокладываемых по трассам с различными условиями охлаждения, сечения кабелей должны выбираться по участку трассы с худшими условиями охлаждения, если длина его составляет более 10 м. Для кабельных линий до 10 кВ, за исключением подводных, допускается применение кабелей разных сечений, но не более трех. При этом длина наименьшего отрезка должна быть не менее 20 м и число соединительных муфт на 1 км кабельных линий не должно быть более 4 шт. для трехжильных кабелей 1—10 кВ сечением до 3×95 мм^2, 5 шт. для кабелей сечением до 3×240 мм^2, 6 шт. для трехжильных кабелей 20—35 кВ, 2 шт. для одножильных кабелей.

Для кабельных линий, прокладываемых в земле или в воде, должны применяться бронированные кабели.

В кабельных сооружениях и производственных помещениях рекомендуется прокладывать небронированные кабели. При возможности механических повреждений должны применяться бронированные кабели, а небронированные должны быть защищены от механических повреждений. Бронированные и небронированные кабели не должны иметь защитных покровов из горючих материалов.

Для кабельных линий, прокладываемых по железнодорожным и автомобильным мостам с интенсивным движением транспорта, рекомендуется применять бронированные кабели в алюминиевой оболочке.

Для подводных кабельных линий следует применять кабели с броней из круглой проволоки.

Кабели с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке, а также кабели в алюминиевой оболочке без специальных водонепроницаемых покрытий для прокладки в воде не допускаются. При прокладке кабельных линий через небольшие несудоходные несплавные реки шириной не более 100 м (с учетом затопляемой поймы) допускается применение кабелей с ленточной броней.

Для кабельных линий до 35 кВ на участках трассы с разностью уровней, превышающей допустимую, должны применяться кабели с нестекающей пропиточной массой, кабели с обедиенно-пропитанной бумажной изоляцией и кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией.

1.19. КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ 110 И 220 кВ

Для проектирования кабельных линий 110 кВ необходимы следующие исходные данные:

максимальная передаваемая мощность, среднесуточный коэффициент графика нагрузки и перспектива роста нагрузок на ближайшие 10 лет;

максимальная и минимальная температура воздуха;

глубина промерзания почвы;

удельное тепловое сопротивление почвы;

генплан или геоподоснова с подземными и надземными коммуникациями в масштабе 1:500 или 1:1000;

продольный профиль трассы с данными по грунтам, с черными и красными отметками.

После определения способа прокладки, выбора марки кабеля (табл. 1.41), сечения токопроводящей жилы по пропускной способности (табл. 1.46—1.51) выполняются электрические расчеты и проверка кабеля на термическую стойкость к действию токов КЗ (табл. 1.52—1.54), а для маслонаполненных кабелей, кроме того, выполняются

Таблица 1.55. **Удельное тепловое сопротивление**

Материалы	Сопротивление, см·К/Вт
Джутовые покровы	550—650
Свинец	2,9
Алюминий	0,48
Пропитанная бумажная изоляция	450—500
Поливинилхлорид	700

Таблица 1.56. **Удельное тепловое сопротивление грунта**

Грунт	Влажность, %	Сопротивление, см·К/Вт
Песок	До 4	300
	4—6	200
	7—9	120
	Более 9	80
Песчано-глинистый	2—3	—
	8—12	200
	12—14	120
	Более 14	80

тепловой расчет и расчет подпитки маслом кабельной линии.

Тепловой расчет. Условия охлаждения определяются тепловыми сопротивлениями: изоляции — Т1, подушки под медными лентами — Т2, защитных покровов — Т3 и среды, окружающей кабель,— Т4 (табл. 1.55).

В случае прокладки кабеля непосредственно в земле (Т4) — это тепловое сопротивление грунта (табл. 1.56), при прокладке в воздухе (туннеле) — это сопротивление теплопередачи в воздух от поверхности кабеля.

Потери в кабеле

$$P=P_{дэ}+P_{ж}+P_{об}. \qquad (1.93)$$

Диэлектрические потери в изоляции кабеля, кВт/км,

$$P_{дэ}=U^2\omega C \operatorname{tg}\delta\cdot 10^{-6}, \qquad (1.94)$$

где U — напряжение токопроводящей жилы кабеля относительно земли, кВ; ω — угловая частота; C — емкость одножильного кабеля, мкФ/км; $\operatorname{tg}\delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь в изоляции кабеля.

Потери в жиле, кВт/км,

$$P_{ж}=j^2 s\rho_{20}[1+\alpha_{20}(t_{ж}-20)], \qquad (1.95)$$

где j — плотность тока, А/м$^2\cdot 10^{-6}$; s — сечение кабеля, мм^2; ρ_{20} — удельное сопротивление жилы при 20 °С, мкОм; $t_{ж}$ — расчетная температура жилы, °С ($t_{ж}=85$ °С); α_{20} — температурный коэффициент сопротивления для медных и алюминневых жил, $\alpha_{20}=0{,}0041$ °С.

Потери в оболочке, кВт/км,

$$P_{об}=I_{об}^2 R_{об}, \qquad (1.96)$$

где $R_{об}$ — сопротивление оболочки, Ом/см,

$$R_{об}=\frac{\rho_{об}[1+\alpha(\theta_{об}-20)]}{s_{об}}, \qquad (1.97)$$

$s_{об}$ — сечение оболочки, см^2; $\rho_{об}$ — удельное сопротивление материала оболочки.

Электрический расчет. Расчет допустимой длительной токовой нагрузки определяется:

для маслонаполненного кабеля

$$I=\sqrt{\frac{\Delta\theta-P_{дэ}(0{,}5T_1+T_2+T_3+T_4)}{RT_1+R(1+\lambda_1+\lambda_2)T_3+k_{м}T_4}}; \qquad (1.98)$$

для кабеля с пластмассовой изоляцией

$$I=\sqrt{\frac{\Delta\theta-P_{дэ}(0{,}5T_1+T_3+T_4)}{RT_1+R(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3k_{м}T_4)}}, \qquad (1.99)$$

где $\Delta\theta=\theta-\theta_0$ — допустимое превышение температуры токопроводящей жилы относительно температуры окружающей среды; R — сопротивление жнлы переменному току при максимальной рабочей температуре, Ом/см; $R_{дэ}$ — диэлектрические потери в изоляцин кабеля, Вт/см^2; $\lambda_1\lambda_2$ — отношение потерь в оболочке и медных лентах к потерям в жиле; $k_{м}$ — коэффициент потерь мощности; $k_{н}$ — коэффициент среднесуточной нагрузки линии.

После выбора сечений кабелей по допустимой длительной нагрузке проверяют их по токам КЗ. При КЗ максимальная температура жилы не должна превышать 165 °С. Формула для определения допустимого тока КЗ выведена в предположении, что все тепло, выделяющееся при КЗ, идет на нагрев жилы и имеет вид

$$I_{к}=\sqrt{\frac{G_{ж}C_{ср}\Delta\theta_{ж}s}{K\rho_{ср}\tau}}, \qquad (1.100)$$

где $G_{ж}$ — масса жилы, кг/м; $C_{ср}$ — средняя удельная теплоемкость материала жилы, Дж/(кг·К); $\Delta\theta_{ж}=\theta_1\theta_2$ — превышение максимальной температуры жилы при КЗ над рабочей температурой жилы; θ_1 и θ_2 — температура жилы в момент конца и начала КЗ; s — сечение жилы, мм^2; K — отношение активного сопротивления жилы ($t=20$ °С) при переменном токе к ее сопротивлению при постоянном токе ($K=1$); $\rho_{ср}$ — среднее удельное электри-

Таблица 1.57. **Значения расчетных коэффициентов a и b, входящих в формулы подпитки для кабеля сечением 270 мм², при температуре окружающей среды 0 °С для масла МН-3**

Условия прокладки, режим работы	ab_{max}, 10^{-9} см$^{-1}$
Кабель в воздухе, отключение 100 % номинальной нагрузки	213
Кабель в воздухе, включение 100 % номинальной нагрузки	805
Кабель в земле, отключение 60—70 % номинальной нагрузки	73,5
Кабель в земле, включение 100 % иоминальной нагрузки	499

ческое сопротивление материала жилы при средией температуре КЗ, Ом·м; τ — время протекания КЗ, с.

Для маслонаполненных 110 кВ с медной жилой $S_{ср}=304$ Дж/(кг·К).

Допустимый ток КЗ кабельной линии должен быть не больше фактического в энергосистеме. Если фактическое значение тока КЗ больше расчетного, следует переходить на следующее сечение кабеля.

Расчет подпитки маслом кабелей 110 и 220 кВ пронзводнтся на основании отметок продольного профиля трассы и расчетного коэффициента a, определяющего количество поглощаемого масла в 1 с на 1 см длины кабеля, зависящее от конструкции кабеля и коэффициента b, определяющего гидродинамическое сопротивление маслопроводящего канала на едииицу длины кабеля, имеет единицу МПа·с/см⁴, зависит от диаметра маслопроводящего канала, вязкости масла, а также произведения коэффициентов ab (табл. 1.57). Затем для линии или предварительно выбранных герметически нзолированных по маслу длин секций всей линии определяют измеиение объема масла в секциях при переходе от режима полной иагрузки летом к режиму включения зимой на 70 % номинальной нагрузки. Получив подлежащне компенсации объема масла в секции, определяют количество подпитывающих баков давления в каждой секции. После этого, задавшись отметками установки баков для предварительно выбранных длин секций, строят эпюры давления для основных расчетиых установившихся и переходных режимов. Если давление по длине выбраниых секций выходит за допустимые пределы, корректируют места установки стопорных муфт, количество подпитывающих баков, отметки их установки и вновь строят эпюры давления. Обычно при расчете подпитки для выявления наиболее целесообразного варианта намечают несколько возможных схем подпитки и расположения баков по трассе линии.

По каждому намечениому варианту проводят расчеты и приннмают решение о целесообразности одного из них. Прииимается лучший по технико-экоиомическим соображениям и удобству эксплуатации вариант. По соображениям надежности рекомендуется раздельная система подпитки фаз линни. Если протяженность линии большая, на ней устанавливаются стопорные муфты. Следует иметь в виду, что кабельиые вводы в траисформаторы могут выполнять функцни концевых муфт. Подпитывающая аппаратура выбирается исходя из условий обеспечения полной компенсации объема масла при переходе от режима максимальной нагрузки линии в летний период к режиму отключенной линин в зимний период.

Значения допустимых давлений масла в лиини в стациоиарных и переходных режимах прииимаются по табл. 1.58.

Расчет давления масла при переходных процессах производится по формулам:

при подпитке с двух сторон

$$H_x=\frac{ab_{max}}{2}\left[\frac{x}{x_0}-\left(\frac{x}{x_0}\right)^2\right]x_0^2, \quad (1.101)$$

при подпитке с одной стороны

$$H_x=\frac{ab_{max}}{2}\left[\frac{2x}{x_0}-\left(\frac{x}{x_0}\right)^2\right]x_0^2, \quad (1.102)$$

где H_x — гидродинамическое изменение давления в сечении кабеля на расстоянии x от места подключения аппарата подпитки, МПа; ab — произведение расчетных коэффициеитов a и b в рассматриваемый момент времени, МПа·с/см⁴; x — расстояние рассматриваемого сечения от подпитывающего пункта, см; x_0 — длина лиии (секции), см.

Подпитка с двух сторон принимается тогда, когда подпитка с одиой стороиы не обеспечивает необходимого давления при переходных процессах и при стационарном режиме работы. Присоединение подпитывающей аппаратуры осуществляется через стопорные муфты, а по концам линии — через концевые муфты.

Пример выполнения схемы маслонаполиенной кабельной линии 110 кВ протяженностью 5,1 км с подпитывающнми устройствами представлен на рис. 1.47.

Пример расчета подпитки линии с двух сторон. Длина линии от ЗРУ 110 кВ ТЭЦ до ГПП 1700 м. Давление в каждой точке кабель-

Таблица 1.58. **Допустимые давления в элементах маслонаполиеиных кабельных линий низкого давления 110—220 кВ**

Элементы линии	110 кВ				220 кВ	
	Допустимое избыточное давление, МПа					
	наибольшее		наименьшее		наибольшее	наименьшее
	Свинцовая оболочка	Алюминиевая оболочка	Свинцовая оболочка	Алюминиевая оболочка	Свинцовая оболочка	
Кабель, арматура и баки давления в стационарном режиме	0,294	0,49	0,0245	0,0245	0,294	0,0245
Кабель и соединнтельные муфты при переходных процессах	0,590	0,980	0,0149	0,0149	0,59	0,0149
Концевые муфты при переходных процессах	0,45	0,45	0,0149	0,0149	0,5	0,0149
Баки давления при переходных процессах	0,3	0,3	0,025	0,025	0,3	0,025

ной линии определяется алгебраической суммой двух составляющих: переменной, вызываемой переходными процессами (включение, отключение нагрузки), и постоянной, зависящей от давления в линии в момент, предшествующий переходному режиму.

Для подпитки линии принимаются бакн давления БД6 с начальным давлением масла в элементах 0,025 МПа и номинальным рабочнм объемом масла $55 \cdot 10^{-3}$ м^3.

Наиболее неблагоприятным в отиошении повышения давления переходиым режимом является включеиие зимой иоминальной иагрузки на кабель, имеющий температуру, равную минимальной расчетной температуре окружающей среды. Повышение давления вдоль линии при включении нагрузки тем больше, чем больше включаемая нагрузка и чем иижe температура масла в канале кабеля, т. е. чем больше произведение ab.

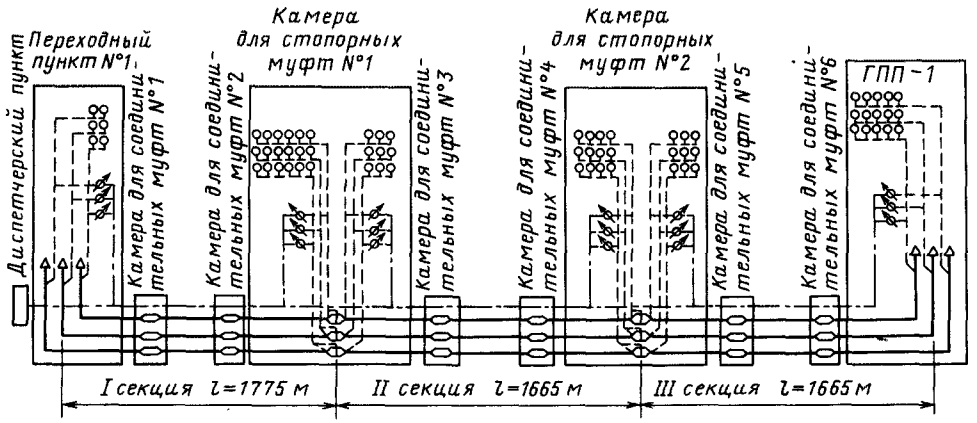


Рис. 1.47. Схема кабельной линии 110 кВ низкого давления с пунктами подпитки:
1 — концевая муфта; *2* — соединительная муфта; *3* — стопорная муфта; *4* — бак низкого давления БД-6-0,25; *5* — манометр электрокоитактный ЭКМ-1VГ; ——— — кабель МНСК-110; — — — — маслопроводы; —.—.—.— контрольный кабель сигнализации

Таблица 1.59. **Перепад давления масла в линии при включении 100 % нагрузки**

x, м	0	200	600	850	1200	1700
$\frac{x}{1700}$	0	0,118	0,35	0,5	0,71	1
$\left(\frac{x}{1700}\right)^2$	0	0,014	0,124	0,25	0,53	1
$\frac{x}{1700} - \left(\frac{x}{1700}\right)^2$	0	0,11	0,23	0,25	0,18	0
H_x, м масляного столба	0	8,0	16,6	18,1	13,0	0

Таблица 1.60. **Перепад давления масла в линии при отключении 70 % нагрузки**

x, м	0	200	600	850	1200	1700
H_x, м масляного столба	0	1,17	2,44	2,66	1,9	0

При отключении нагрузки в случае прокладки кабеля в земле вследствие увеличения вязкости масла с уменьшением величины включаемой нагрузки максимум произведения ab обычно соответствует отключению зимой нагрузки, равной 60—80 % номинальной.

При прокладке в воздухе и в воде вследствие более быстрого охлаждения максимум произведения ab обычно соответствует отключению 100 % номинальной нагрузки.

По приведенным формулам для различных значений x определяется H_x и строится эпюра давления вдоль линии.

Расчет перепадов давления для удобства сводится в табл. 1.59 и 1.60.

Давление в каждой точке линии и муфтах в переходном и стационарном режимах не должно превышать значений, приведенных в табл. 1.58.

Продольный профиль линии и эпюры давления масла вдоль линии даны на рис. 1.48.

Расчет необходимого количества подпитывающих баков. Количество подпитывающих баков на каждую фазу линии определяется при переходе от режима полностью нагруженной линии летом к режиму отключеиной линии зимой; слив или добавка масла не должны пронзводиться.

Для выявления необходимого количества подпитывающих баков следует определить изменение объема масла в секцин.

Подпитывающие бакн типа БД6 устанавливают в ОРУ 110 кВ ТЭЦ н в помещении для баков давленя ГПП.

Высшая отметка кабеля по профилю (рнс. 1.48) составляет 96,8 м.

Отметка оси баков в ОРУ 110 кВ ТЭЦ — 95,4 м, в помещении ГПП — 92,9 м.

Разность отметок баков в ОРУ н ГПП соответственно:

96,8 — 95,4 = 1,4 м, что соответствует 0,012 МПа;

96,8 — 92,9 = 3,9 м, что соответствует 0,0348 МПа.

Начальное давление в баке в ОРУ 110 кВ ТЭЦ 0,025 + 0,012 = 0,037 МПа, что соответ-

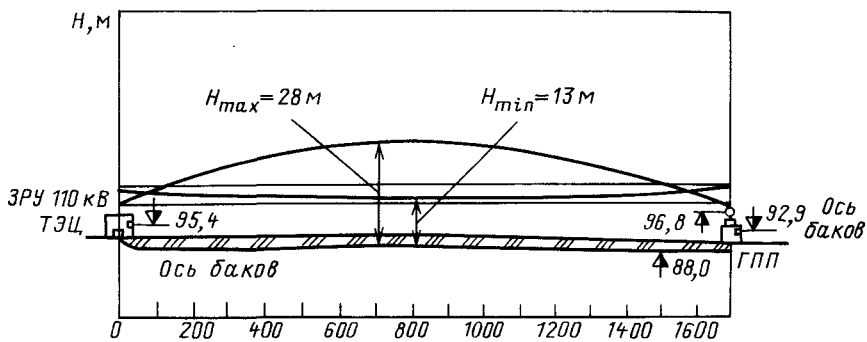


Рис. 1.48. Схематический продольный профиль трассы кабеля 110 кВ и эпюры распределения давлеиия масла вдоль линии при подпитке с двух сторон

Таблица 1.61. **Объем масла, необходимого для компенсации температурных изменений в элементах линий, м³**

Характеристики	Элементы линии				
	Кабель в земле	Концевая муфта	Соединительная муфта	Бак давления БД6	Итого
Рабочий диапазон температур, °С	0—70	0—30	−10÷−60	0—20	
Объем масла, м³	$76{,}5\cdot10^{3}$	$5{,}4\cdot10^{-3}$	$2{,}3\cdot10^{-3}$	$22\cdot10^{-3}$	$106{,}2\cdot10^{-3}$

ствует начальному объему бака (по кривым на рис. 1.41) $16\cdot10^{-3}$ м³.

Начальное давление в баке ГПП 0,025+ +0,0348=0,0598 МПа, что соответствует начальной вместимости бака $25\cdot10^{-3}$ м³.

Отметка низшей точки кабеля 88 м.

Расчетное статическое давление масла в низшей точке 95,4 — 88 = 7,4 м масляного столба (0,066 МПа); 92,9 — 88 = 4,9 м масляного столба (0,0433 МПа).

Наибольшее допустимое давление в баке со стороны ТЭЦ 0,3 — 0,066 = 0,234 МПа (соответствует объему масла в баке $49{,}5\cdot10^{-3}$ м³), а в баке со стороны ГПП 0,3 — — 0,0433 = 0,256 МПа (соответствует объему масла $51\cdot10^{-3}$ м³).

Рабочая вместимость баков:

на ОРУ 110 кВ ТЭЦ $V_p=49{,}5\cdot10^{-3}-16\cdot10^{-3}=33{,}5\cdot10^{-3}$ м³;

на ГПП $V_p=51\cdot10^{-3}-25\cdot10^{-3}=26\cdot10^{-3}$ м³.

Необходимый объем масла в баке увеличивают на 30—40 % ($K=1{,}3\div1{,}4$) для компенсации частичной утечки масла.

Необходимое количество баков на фазу

$$N=\frac{K\sum_{1}^{n}\Delta V}{V_p},$$

где $\sum_{1}^{n}\Delta V$ — суммарный объем масла, подлежащего компенсации в n элементах одной фазы. Количество масла, необходимого для компенсации температурного изменения объема, $106{,}2\cdot10^{-3}$ м³ (табл. 1.61).

При выборе для подпитки пяти баков на фазу

$$K=\frac{3\cdot33{,}5\cdot10^{-3}+2\cdot26\cdot10^{-3}}{106{,}2\cdot10^{-3}}=1{,}43.$$

Для подпитки линии принимается пять баков давления на фазу, из них три бака давления устанавливаются в ОРУ 110 кВ ТЭЦ и два бака — в помещении ГПП.

Аналогично выполняется расчет подпитки для кабелей 220 кВ низкого давления.

1.20. ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ 110 И 220 кВ В ТРАНШЕЯХ

Прокладка кабелей может быть осуществлена непосредственно в земле (в траншее) в железобетонных лотках (рис. 1.49).

При прокладке в земле защита кабелей выполняется железобетонными плитами. Кабели укладываются вплотную по вершинам равностороннего треугольника.

Прокладка кабелей в железобетонных лотках несколько дороже по капитальным затратам, но более надежна и в большей степени позволяет механизировать работы. При укладке лотков должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие смещение одного лотка по отношению к другому на стыках. После засыпки лотков грунтом плиты перекрытия устанавливаются на расстоянии 10—15 см от верха лотка для исключения образования воздушных зазоров в лотках под плитами, резко ухудшающих условия теплоотвода. Кабели в лотках укладывают на подсыпке из стабилизированного грунта (гравий — фракции 5—10 мм, песок — 1,5 мм) и засыпают до верха этим же грунтом.

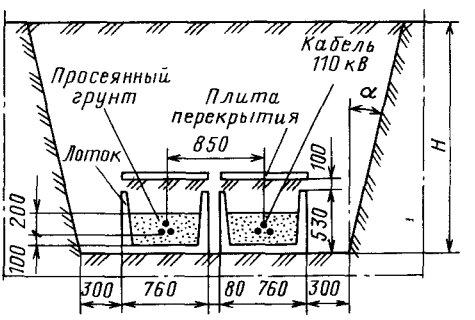


Рис. 1.49. Прокладка кабелей 110—220 кВ низкого давления в траншее в железобетонных лотках

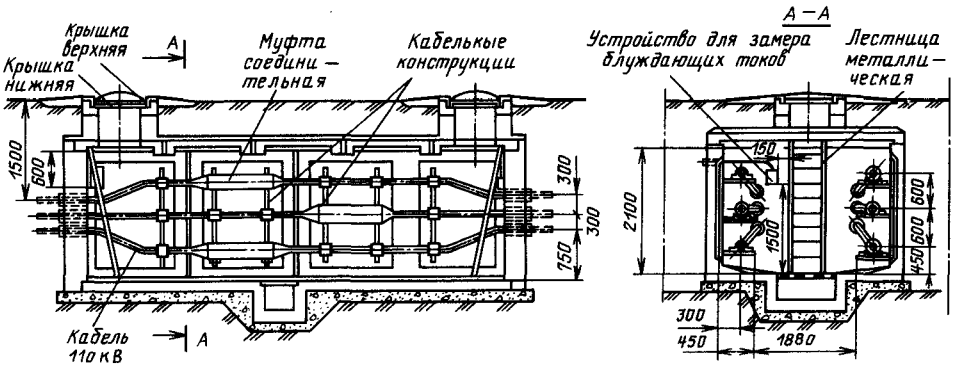


Рис. 1.50. Установка соединительных муфт для кабелей 110 кВ иа конструкциях в камере

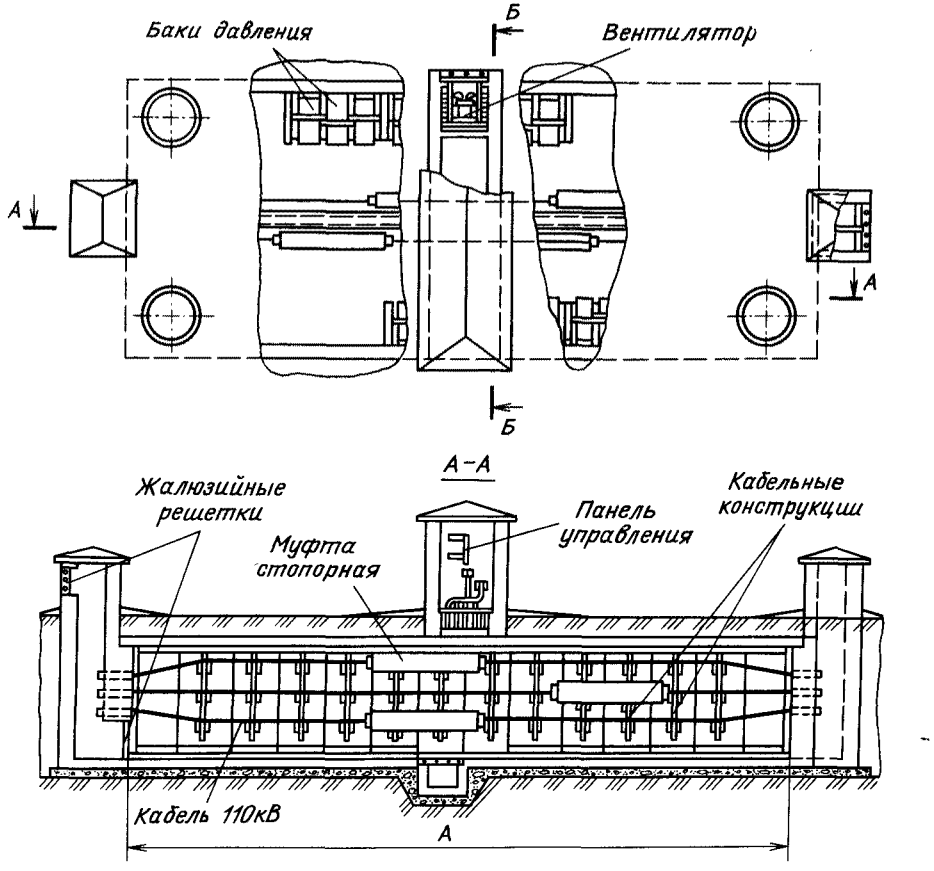


Рис. 1.51. Установка стопорных муфт для кабелей 110 кВ и баков давления на конструкциях в камерах

Продолжение рис. 1.51

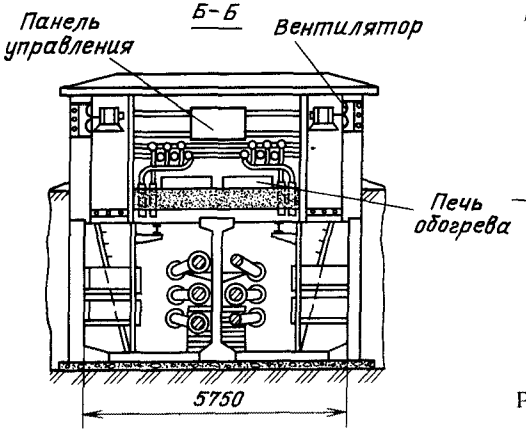
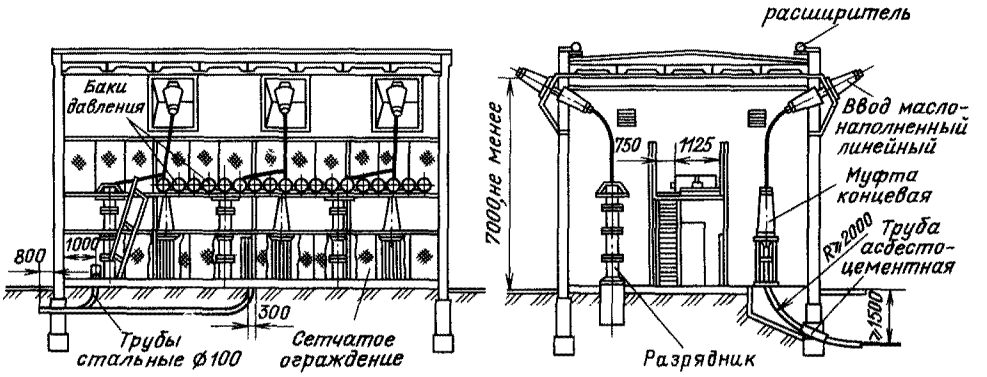


Рис. 1.52. Переходный пункт для перехода ВЛ 110 кВ в кабельную



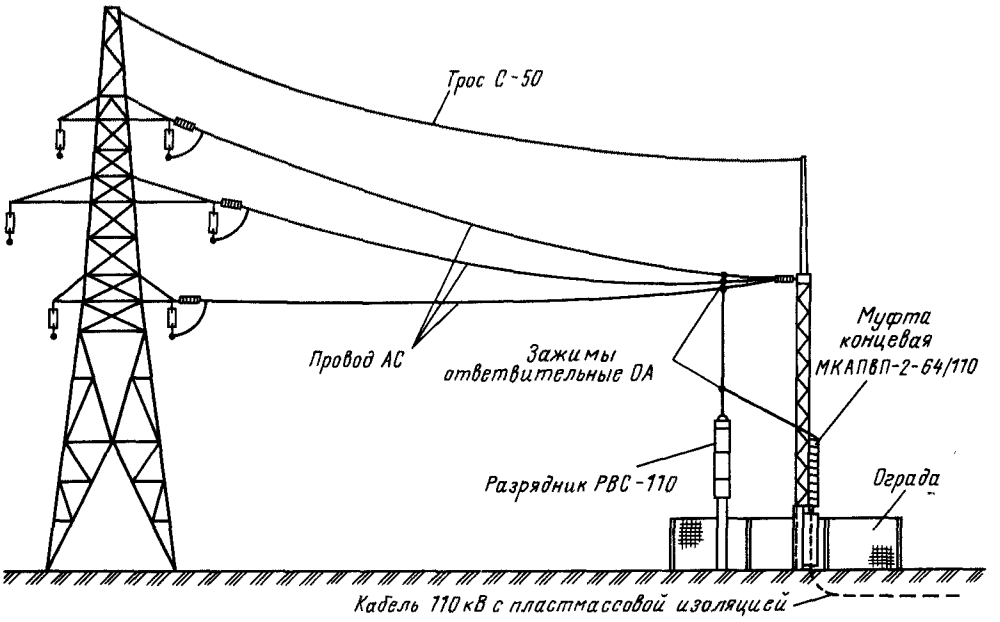


Рис. 1.53. Переходный пункт для перехода ВЛ 110 кВ в кабельную с кабелем в пластмассовой изоляции

Для кабелей с пластмассовой изоляцией соединительные муфты размещают в железобетонных лотках, для маслонаполненных кабелей — в железобетонных лотках или в подземных камерах из сборного железобетона (рис. 1.50).

Установка соединительных муфт в камерах более удобна в эксплуатации.

Для размещения стопорных муфт и баков давления сооружают подземные камеры, которые оборудуют принудительной вентиляцией и электроосвещением (рис. 1.51).

Камеры для соединительных и стопорных муфт двухцепных кабельных линий в случае питания нагрузок I категории целесообразно разделять огнестойкими перегородками для изолированного размещения каждой цепи линии. Если кабельная линия является продолжением ВЛ, то для осуществления перехода ВЛ в кабельную сооружается переходный пункт (рис. 1.52, 1.53).

Для маслоиаполненных кабелей у концевых муфт и кабельных вводов в трансформатор может потребоваться установка баков давления, определяемая расчетом подпитки. В этом случае предусматривается сооружение самостоятельных подземных или надземных помещений для баков давления, которые могут быть совмещенными для баков давления и концевых муфт.

Оборудование и кабельная арматура переходных пунктов, камер соединительных и стопорных муфт, металлические оболочки кабелей и броня должны присоединяться к заземлителям с сопротивлением растеканию не более 0,5 Ом. Для выравнивания потенциала вокруг переходного пункта и камер для соединительных и стопорных муфт необходима прокладка выравнивающих заземляющих проводников (рис. 1.54).

Для наблюдения за работой линии контролируют давление масла в кабелях контакт-

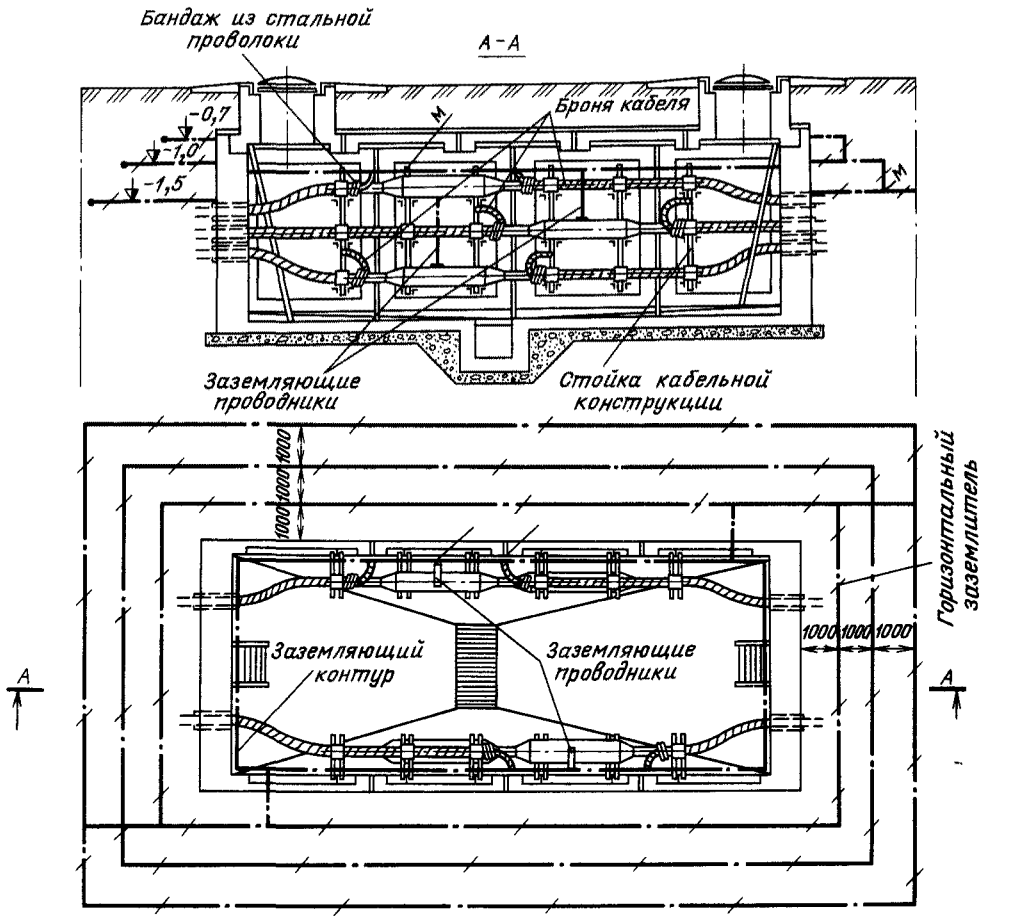


Рис. 1.54. Выравнивающие проводники вокруг камеры для соединительных муфт

ными манометрами, устанавливаемыми в пунктах подпитки на каждой фазе линии.

Для передачи сигналов максимального и минимального давления от манометров на диспетчерский пункт применяют контрольные кабели, которые прокладывают в общей траншее с кабелями 110 кВ или отдельно. При прокладке контрольных кабелей в одной траншее вблизи кабелей 110 кВ следует рассчитывать влияние тока КЗ в кабелях 110 кВ на контрольные кабели.

1.21. ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ 110 И 220 кВ В ТУННЕЛЯХ

Кабели в туннелях прокладывают по конструкциям (рис. 1.55) с креплением каждого кабеля на полках скобами из диамагнитного материала. Конструкции для прокладки кабеля и скобы должны быть проверены на механическую прочность при ударных токах КЗ. Располагают кабели по вершинам равностороннего треугольника.

Туннели по всей длине должны быть оборудованы принудительной вентиляцией и иметь огнезащитные перегородки с дверями, устанавливаемыми в вентиляционных камерах на расстоянии, не превышающем 100 м. Туннели оборудуют извещателями дыма и установками автоматического пожаротушения.

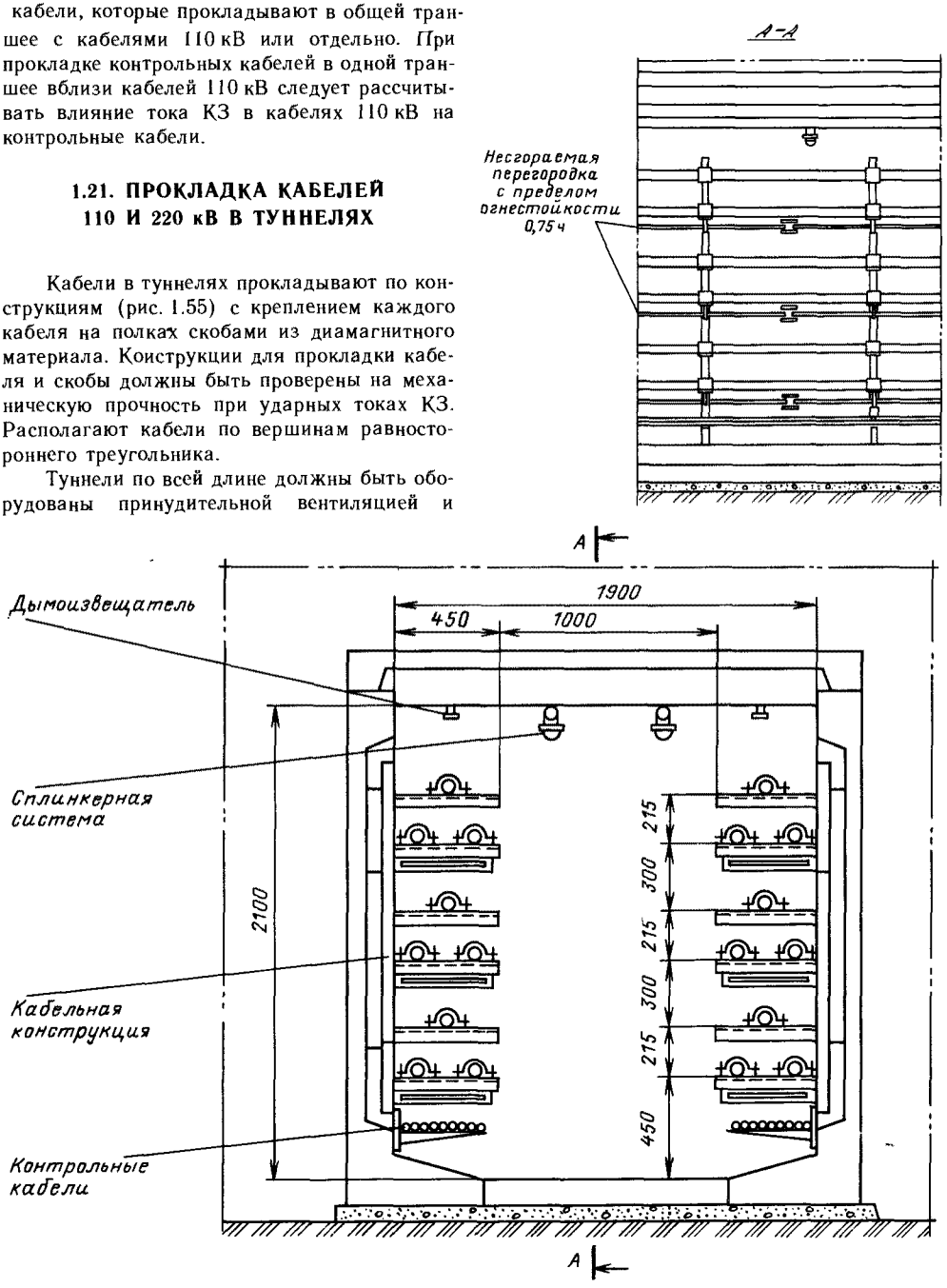


Рис. 1.55. Прокладка кабелей напряжением 110 кВ в туннеле

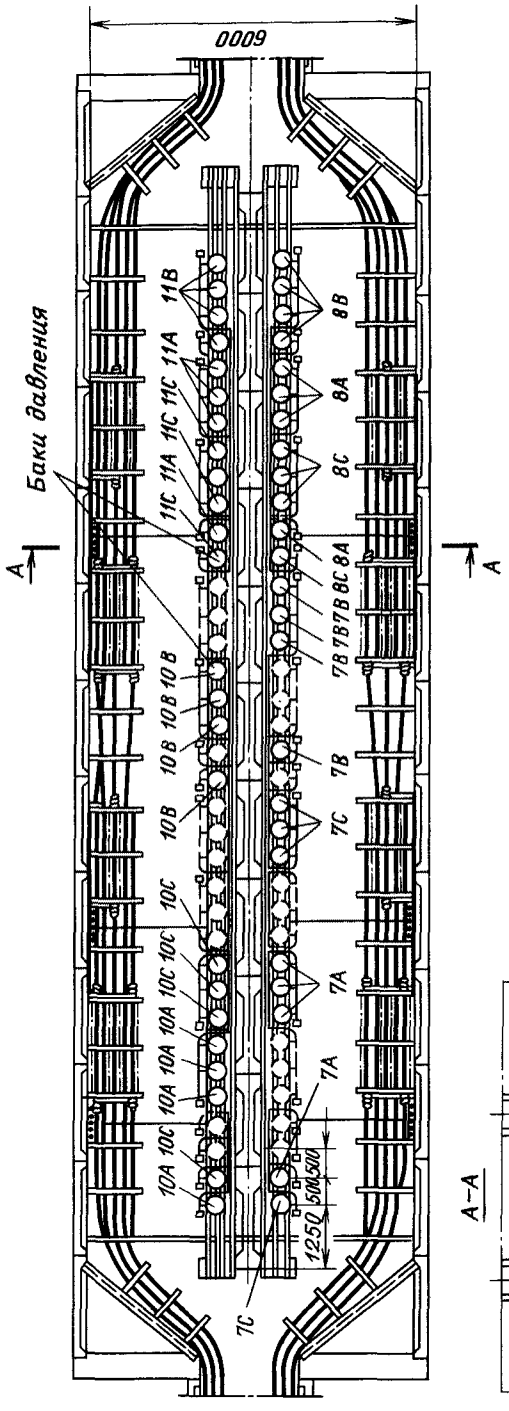


Рис. 1.56. Камера для стопорных муфт кабелей 110 кВ при прокладке в туннеле

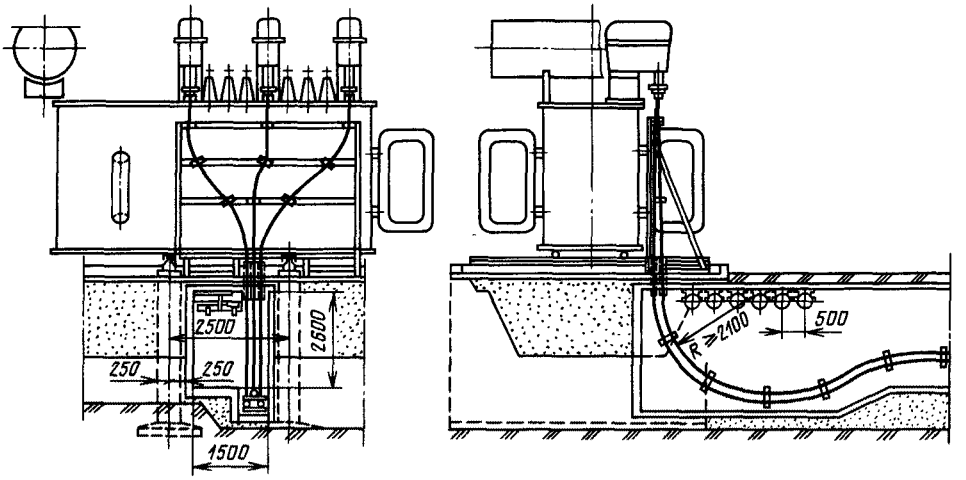


Рис. 1.57. Выход кабелей 110 кВ из туннеля и ввод в трансформатор

При появлении дыма в туннелях вытяжные вентиляторы должны автоматически отключаться. Необходимость автоматического перекрытия жалюзийных вентиляционных решеток при появлении дыма в туннеле должна быть согласована с проектной организацией, проектирующей противопожарные мероприятия.

Для маслоиаполненных кабельных линий размещение по трассе туннеля камер для соединительных и стопорных муфт (рис. 1.56) выполняется исходя из строительной длины прокладываемых кабелей, профиля трассы и результатов расчета подпитки.

Габариты камер для соединительных муфт определяют размерами соединительных муфт и радиусами изгиба кабеля, а габариты камер для стопорных муфт — количеством баков давления, подлежащих размещению в камере.

В туннеле должны быть предусмотрены дренажные колодцы с отливом воды вручную или автоматически. Ввод кабелей в камеры осуществляется через асбестоцементные трубы. Вход и выход эксплуатационного персонала предусматривается через вентиляционные камеры. Пример выхода кабеля из туннеля и ввод в трансформатор с размещением баков давления в туннеле приведен на рис. 1.57.

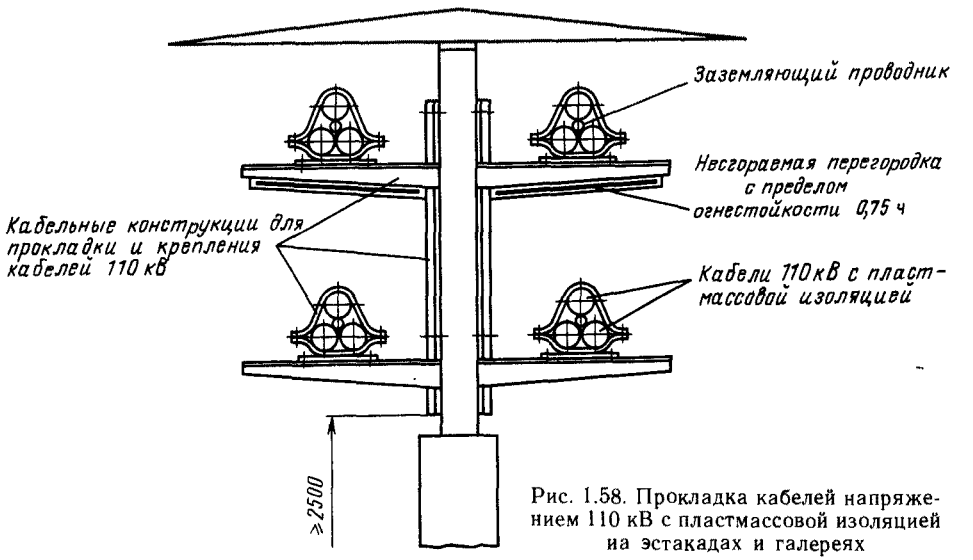


Рис. 1.58. Прокладка кабелей напряжением 110 кВ с пластмассовой изоляцией на эстакадах и галереях

1.22. ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ 110 кВ НА ЭСТАКАДАХ И ГАЛЕРЕЯХ

На эстакадах и открытых галереях могут прокладываться только кабели 110 кВ с пластмассовой изоляцией. При прокладке кабелей 110 кВ для защиты их от солнечной радиации эстакады и галереи должны быть оборудованы солнцезащитными козырьками (рис. 1.58).

Кабели на эстакадах и галереях прокладывают вплотную по вершинам равностороннего треугольника (три кабеля на полке) с креплением их скобами, поставляемыми в комплекте с кабельными конструкциями.

При прокладке на эстакаде и галерее нескольких цепей кабельных линий 110 кВ между цепями должны быть установлены огнезащитные перегородки с пределом огнестойкости 0,75 ч.

Г. ТОКОПРОВОДЫ 6—35 кВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. 23. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТОКОПРОВОДОВ 6—35 кВ

Под токопроводом 6—35 кВ здесь и далее подразумевается линия электропередачи повышенной по сравнению с воздушной линией данного напряжения пропускной способностью. В зависимости от вида проводников токопроводы подразделяют на гибкие (при использовании проводов и лент) и жесткие (при использовании труб, шин прямоугольного или другого сечения). Токопроводы с фазами, расположенными по вершинам равностороннего треугольника, называют симметричными (фазы цепи имеют одинаковое активное и реактивное сопротивление).

Применение токопроводов взамен большого числа кабелей повышает надежность электроснабжения потребителей, значительно упрощает обслуживание, позволяет снизить капитальные и годовые приведенные затраты, обеспечить экономию кабельной продукции. Целесообразность применения токопроводов в системах электроснабжения конкретного промышленного объекта выявляется на основе технико-экономических сопоставлений вариантов схем с различными конструктивными исполнениями сети. Наилучшие условия применимости токопроводов обычно создаются при потоке электроэнергии, ориентированном в одном направлении [5, 6].

Правила устройства электроустановок рекомендуют:

а) для передачи в одном направлении суммарной мощности более 20 МВ·А при напряжении 6 кВ, более 35 МВ·А при напряжении 10 кВ, как правило, применять токопроводы. Применение кабельных линий для передачи указанных мощностей допускается только при их явном технико-экономическом преимуществе или при технической невозможности использования токопроводов;

б) при передаче в одном направлении суммарной мощности более 35 МВ·А при напряжении 35 кВ проверять технико-экономическую целесообразность применения токопроводов этого напряжения.

Токопроводы можно рассматривать как сборные шины источника питания, вынесенные за его пределы и проложенные до центров электрических нагрузок. Оптимальное количество и расположение РП, присоединяемых к магистральному токопроводу, определяются технико-экономическим сравнением вариантов с учетом следующих их особенностей:

токопроводы характеризуются значительным падением напряжения на 1 км по сравнению с другими способами передачи электроэнергии на том же напряжении. Предельная длина токопроводов определяется по расчету напряжения у наиболее электрически удаленных электроприемников при передаче 100 % потребляемой мощности по одной цепи токопровода (в послеаварийном режиме) (рис. 1.59);

токопроводы имеют определенные границы использования по наибольшей передаваемой мощности, обусловленной максимальным сечением фаз цепи токопровода принятой конструкции. Эта мощность составляет для жесткого трубчатого токопровода по типовому проекту ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» 65 МВ·А при напряжении 6,3 кВ, 108 МВ·А при 10,5 кВ, а для гибкого токопровода разработки ГПИ «Электропроект» — соответственно 131 и 218 МВ·А;

необходимо учитывать предполагаемую степень загрязненности среды промышленными химически агрессивными уносами в отношении воздействия на проводниковый материал, арматуру и изоляцию токопровода;

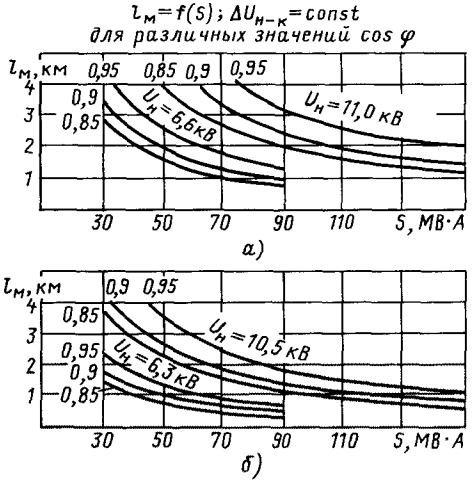


Рис. 1.59. Предельная длина гибкого токопровода по расчету допустимых значений напряжения у электроприемников в послеаварийном режиме в зависимости от передаваемой мощности для различных значений cos φ:
а — при наличии регулирования напряжения на шинах источника питания ($U_н$=11 кВ, 6,6 кВ; $U_к$=9,75 кВ, 5,85 кВ); *б* — при отсутствии возможности регулирования напряжения ($U_н$= =10,5 кВ, 6,3 кВ; $U_н$=9,75 кВ, 5,85 кВ); $U_н$ и $U_к$ — напряжения в начале и конце токопровода

токопроводы должны быть защищены от воздействия прямых ударов молнии и от индуцированных перенапряжений в соответствии с действующими Правилами [ПУЭ, гл. 4.2]. Выход из строя токопровода по причине несоблюдения правил его молниезащиты может привести к полной остановке предприятия, в том числе с потребителями I категории. Вопросы молниезащиты токопроводов изложены в [4], а также в разд. 6 настоящего справочника;

при применении открытых токопроводов следует учитывать климатические условия района в объеме, который предусматривается при проектировании воздушных линий электропередачи.

1.24. КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕСТКИХ ТОКОПРОВОДОВ

В 1984—1986 гг. Ленинградским отделением ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» разработаны типовые проекты симметричных самонесущих подвесных токопроводов 6—10 кВ с жесткими шинами трубчатого сечения с подвесными изоляторами для нормальной и загрязненной сред. Заводы НПО «Электромонтаж» Минмонтажспецстроя СССР поставляют для этих токопроводов ряд изделий (см. табл. 1.62) заводского изготовления, что повышает степень индустриализации работ по монтажу указанных токопроводов.

Шины из алюминиевого сплава АД31-Т или АД31-Т1 диаметром 140×10 или 210×10 мм («труба круглая» по ГОСТ 15176—84) работают как балки, закрепленные на смежных опорах.

Расчетный пролет между опорами 12—20 м в зависимости от принятого диаметра труб, марки алюминиевого сплава, расчетных климатических условий по ветру и гололеду для данного района, а также от количества стяжек в пролете, зависящего от значения ударного тока КЗ на шинах источника питания и удаленности пролета от начала токопровода. На всех опорах устанавливают фиксаторные подвесы, препятствующие отклонению цепей токопровода под напором ветра.

Общий внд токопровода для загрязненной среды (с двумя подвесными изоляторами на фазу) представлен на рис. 1.60, конструк-

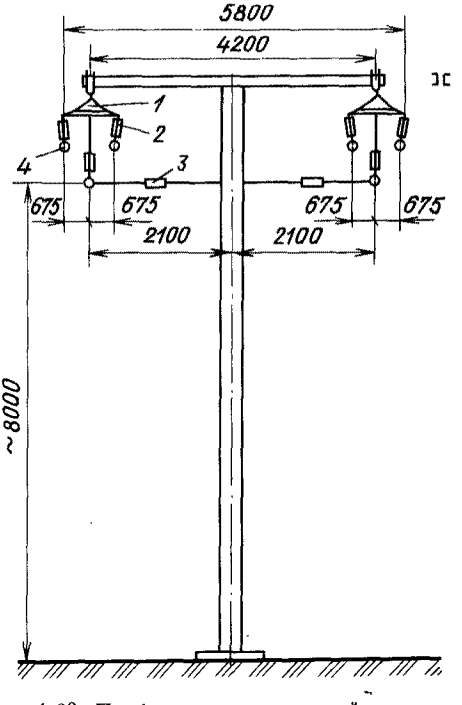


Рис. 1.60. Профиль промежуточный двухцепной опоры токопровода с жесткими шинами для предприятий с сильно загрязненной средой:
1 — коромысло; *2* — изоляторы подвесные грязестойкие; *3* — изолятор стержневой, фиксирующий положение средней фазы; *4* — труба ∅ 140×10, ∅ 210×10, ∅ 250×10

Таблица 1.62. **Изделия заводов ГЭМ Минмонтажспецстроя СССР для подвесных симметричных токопроводов 6—10 кВ с жесткими шинами**

Тип	Наименование изделия	Назначение	Масса, кг
ШТ-140 ШТ-210	Шинодержатель	Для крепления трубчатых шин шинопровода диаметрами 140, 210 мм	4,03 4,07
ЗТР-140 ЗТР-210	Звено трехлучевое	Для регулировки взаимоположения шин токопроводов диаметрами 140, 120 мм промежуточными стяжками	2,2 2
КБ-1125 КБ-1350	Коромысло трехцепное	Для подвеса токопровода к несущим строительным конструкциям	23,6 26,6
КТ-500 КТ-700	Компенсатор (прямой, угловой) Компенсатор угловой	Для компенсации температурных изменений длины токопровода	5,5 6
КС-140 КС-210	Кольцо стыковочное	Для соединения сваркой шин диаметрами 140, 210 мм	0,38 0,6

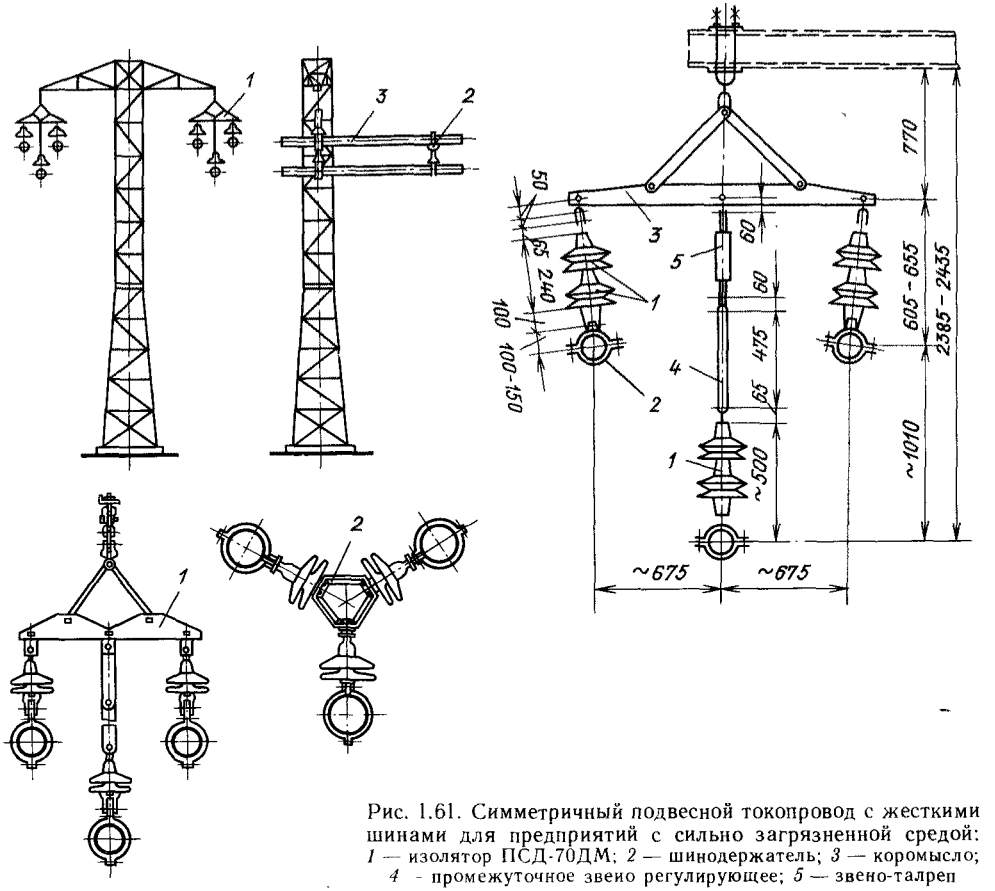


Рис. 1.61. Симметричный подвесной токопровод с жесткими шинами для предприятий с сильно загрязненной средой: *1* — изолятор ПСД-70ДМ; *2* — шинодержатель; *3* — коромысло; *4* — промежуточное звено регулирующее; *5* — звено-талреп

Таблица 1.63. **Основные механнческие характеристики токоведущих шин токопровода**

Профиль токоведущих шии по ГОСТ 15176—89Е	Труба кр140×10	Труба кр210×10
Материал токоведущих шин и вид термической обработки	АД 31-Т	АД 31-Т
Наружный диаметр, мм	140	210
Толщина стенки трубы, мм	10	10
Строительная длина шин, м	9	
Сечение профиля, мм^2	4082	6200
Масса 1 м шин, кг/м	11,06	16,8
Температурный коэффициент линейного расширения, 1/град	$24{,}3\cdot10^{-6}$	
Момент сопротивления, см^3	124	310
Момент инерции сечения, см^4	870	3120
Модуль упругости, даН/см^2	$7{,}1\cdot10^5$	
Временное сопротивление разрыву по ГОСТ ($\sigma_в$), даН/см^2	1300	
Расчетный предел прочности (в зоне сварного шва), даН/см^2	840	
Предел текучести по ГОСТ (σ 0,2), даН/см^2	600	
Расчетный предел текучести (в зоне сварного шва), даН/см^2	550	

Таблица 1.64. **Основные электрические характеристики жестких симметричных подвесных токопроводов 6—10 кВ для нормальной и загрязненной среды**

Профиль токоведущих шин по ГОСТ 15176—89Е	Труба кр140×10	Труба кр210×10
Допустимый длительный ток нагрузки по условию нагрева шин, А, $t_{ср}=25$ °С, $t_{доп}=70$ °С	3950	5920
Передаваемая мощность при полной загрузке токопровода и иоминальном напряжении сети, МВ·А:		
$U_{ном}=6{,}3$ кВ	43,1	64,6
$U_{ном}=10{,}5$ кВ	71,8	107,7
Омическое сопротивление токоведущих шин на фазу при $t=20$ °С, Ом/км	$8{,}574\cdot10^{-3}$	$5{,}645\cdot10^{-3}$
Коэффициент добавочных потерь для открытого токопровода	1,1	1,1
Потери активной мощности при полной загрузке цепи (на три фазы при $t_{ср}=25$ °С), кВт/км	539	796
Индуктивное сопротивление фаз токопровода для нормальной среды, Ом/км:		
X_A	0,1549	0,1289
X_B	0,1645	0,1385
X_C	0,1764	0,1504
Среднее сопротивление $X_{ср}$, Ом/км	0,1637	0,1377
Индуктивное сопротивление обратной последовательности, Ом/км	0,00039	
Сопротивление взаимоиндукции фаз (наибольшее значение), Ом/км	0,0137	
Индуктивное сопротивление фаз токопровода для загрязненной среды, Ом/км:		
X_A	0,1669	0,1409
X_B	0,1786	0,1526
X_C	0,1940	0,1680
Среднее сопротивление $X_{ср}$, Ом/км	0,1774	0,1514
Индуктивное сопротивление обратной последовательности, Ом/км	0,00074	
Сопротивление взаимоиндукции фаз (наибольшее значение), Ом/км	0,0177	

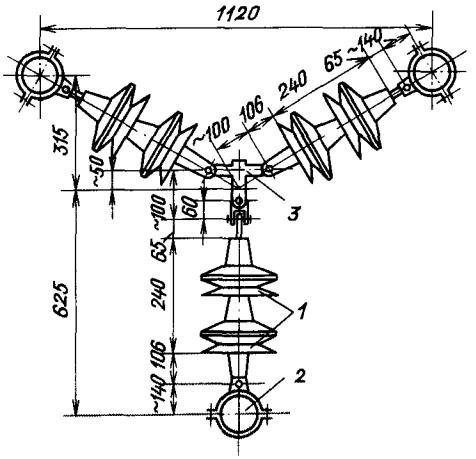


Рис. 1.62. Междуфазная распорка с подвесными изоляторами:
1 — изоляторы ПСД-70ДМ; *2* — шиподержатель; *3* — звено трехлучевое

ция подвеса на траверсе опоры — на рис. 1.61, стяжки промежуточные, устанавливаемые в пролете цепи для восприятия нагрузок, возникающих при протекании тока КЗ,— на рис. 1.62.

Токопровод для нормальной среды отличается от своего аналога для загрязненной только числом изоляторов на фазу (один вместо двух).

Основные механические характеристики токоведущих шин токопровода приведены в табл. 1.63.

Из-за удлинения гирлянд незначительно изменяется расстояние между фазами каждой цепи в пролете (для нормальной среды расстояние между осями фаз 925 мм, для загрязненной 1130 мм). Соответственно изменяется индуктивное сопротивление фаз, что отражено в табл. 1.64.

Длина изолирующих подвесок на опоре и промежуточные стяжки в пролете обеспечивают расположение фаз цепи токопровода по углам равностороннего треугольника, т. е. его симметричность. Изолирующие подвески воспринимают всю массу цепи токопровода между опорами. В случае короткого замыкания изоляторы подвесок не несут дополнительных нагрузок. Электродинамические усилия в режиме КЗ полностью воспринимают промежуточные стяжки в пролете. Токопровод этого типа прошел испытания на электродинамическую стойкость при ударных токах до 200 кА.

Характеристики подвесных линейных изоляторов 6—10 кВ приведены в табл. 1.65. Изоляторы изготовляют из малощелочного

Таблица 1.65. **Основные характеристики линейных подвесных изоляторов 6—10 кВ**

Тип изолятора . . .	ПСД-70ДМ	ПСН-70Д
Выдерживаемое напряжение частотой 50 Гц под дождем, кВ . .	40	40
Длина пути утечки, мм	395	303
Строительная высота изолятора Н, мм . .	127	127
Диаметр изолятора ∅, мм	270	255
Минимальная разрушающая нагрузка, даН	7000	7000
Масса, кг	4,8	3,45

стекла. Подвесные изоляторы из закаленного стекла предпочтительнее фарфоровых по условиям эксплуатации. Нулевые стеклянные изоляторы выявляются внзуально при осмотре линии, так как в момент пробоя юбки изолятора рассыпаются, в то время как фарфоровые изоляторы требуют периодической проверки их электрической прочности.

1.25. КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ ТОКОПРОВОДОВ

Для передачи значительных электрических мощностей (130—220 МВ·А) при напряжении 6—10 кВ соответственно на расстояние 1—2 км ГПИ «Электропроект» разработал симметричный двухцепный гибкий токопровод с фазами, расщепленными на 3—12 проводов марки А600 (или АКП600 для химически агрессивной среды). Опоры и арматура токопровода предназначены для подвески цепей с различным количеством проводов в фазе. Большой диаметр расщепления (0,8 м) и специальная система подвески, при которой нижняя фаза подвешивается к двум верхним (рис. 1.63), обусловили значительное снижение индуктивного сопротивления фаз токопровода, что определяет возможность передачи электроэнергии на сравнительно большие расстояния по условиям потери напряжения. Унифицированные стальные опоры рассчитаны на максимальное тяжение проводов фазы: 49 кН — при расщеплении фаз до шести проводов А600 и 98 кН — более шести проводов.

Большой пролет (50—100 м в зависимости от количества проводов в фазе) способствует удобству расположения токопровода на промышленной площадке, насыщенной подземными и надземными коммуникациями. Схе-

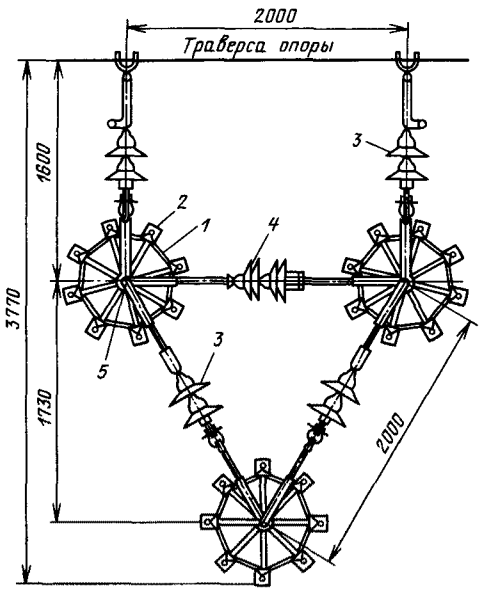


Рис. 1.63. Гибкий симметричный токопровод в унифицированном исполнении на металлических специальных опорах:
1 — зажим поддерживающий для 3—12 проводов А600 в фазе; *2* — зажим для алюминиевого сплава для провода А600; *3* — изолятор подвесной типа ПСГ120-А; *4* — изолятор фиксаторный; *5* — узел шарнирной подвески зажима

мы металлических опор приведены на рис. 1.64. Для повышения промежуточных опор применяют повышающие подставки (опоры *1, 2, 3*). Для выполнения ответвлений к РП, встроенным в производственный корпус,

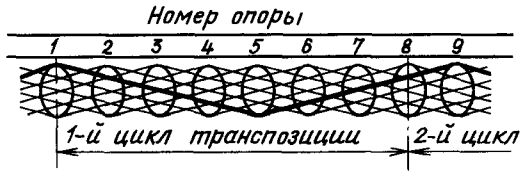


Рис. 1.65. Схема внутрифазной транспозиции для фазы, расщепленной на восемь проводов

предусмотрены отпаечные опоры с траверсами, установленными вдоль оси трассы токопровода (опоры *5, 6*). Сравнительно небольшое число подвесных и фиксаторных изоляторов (350—650 шт. на 1 км двухцепного токопровода в зависимости от количества проводов в фазе и тока КЗ), использование грязестойких изоляторов позволяют применять гибкий токопровод в среде, загрязненной промышленными уносами.

Для устранения неравномерности токораспределения в проводах фазы под влиянием эффекта близости выполняется внутрифазная транспозиция проводов, при которой провода каждой фазы располагаются по пологой спирали (рис. 1.65).

Разработана специальная унифицированная арматура гибкого токопровода, рассчитанная на подвеску любого числа проводов (3—12) марки А600 или АКП-600 в фазе.

Распределительные пункты, получающие питание от токопровода, обычно располагаются в пролетах между промежуточными отпаечными опорами (рис. 1.66) или могут быть встроены в производственные корпуса и присоединены к токопроводу гибкими ответвлениями (рис. 1.67).

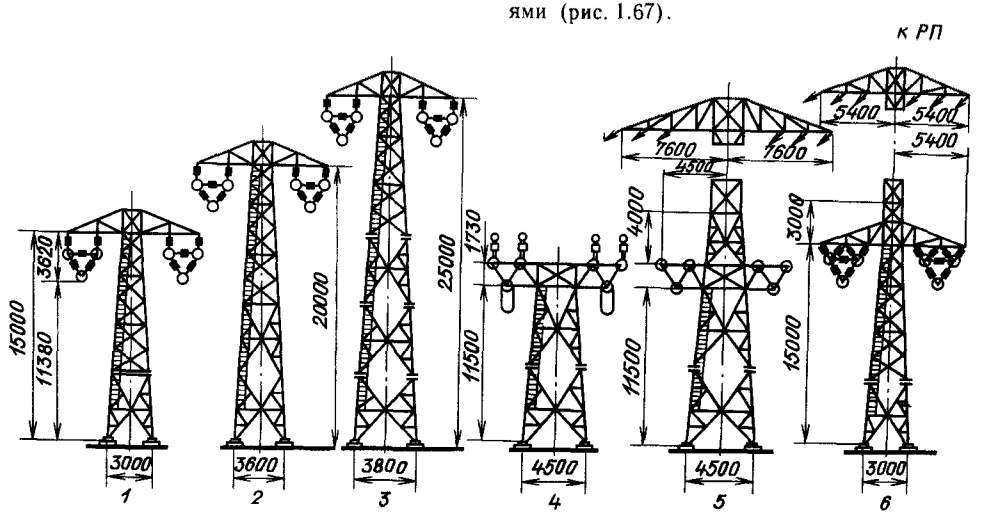


Рис. 1.64. Схемы опор двухцепного гибкого токопровода:
1, 2, 3 — промежуточные опоры; *4* — концевая и угловая опоры; *5, 6* — отпаечные опоры (анкерная и промежуточная)

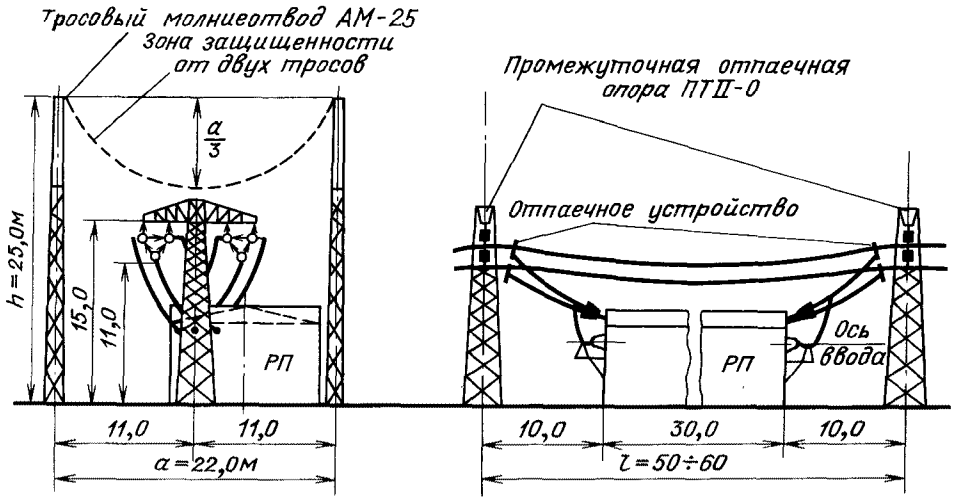


Рис. 1.66. Гибкий токопровод. Отпайка к РП, расположенному в пролете между отпаечными опорами

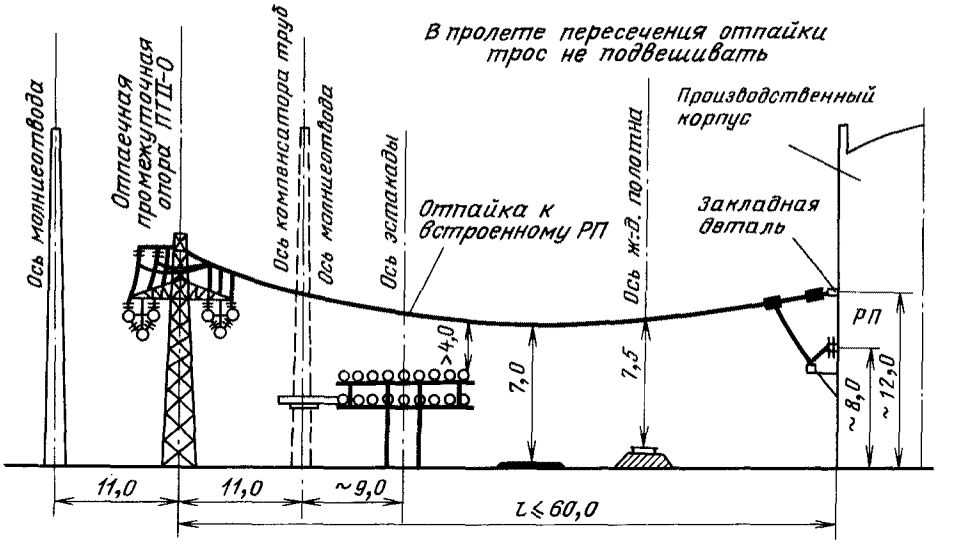


Рис. 1.67. Гибкий токопровод. Отпайка к РП, встроенному в производственный корпус

Разработана и нашла успешное применение железобетонная промежуточная спаренно-стоечная двухцепная опора с использованием типовых унифицированных железобетонных стоек ВЛ 110—220 кВ шифра СК-2 (длиной 22,6 м) илн СК-4а (длиной 26 м). Применение железобетонных опор взамен металлических определяет значительную экономию стального проката и капитальных затрат. Схемы промежуточных железобетонных спаренно-стоечных опор представлены на рис. 1.68, 1.69. Опора с использованием стоек СК-4а применяется для выполнения переходов через высокие препятствия по трассе, например технологические, тепловые эстакады, транспортные коммуникации и др.

Основные характеристики гибкого токопровода приведены в табл. 1.66.

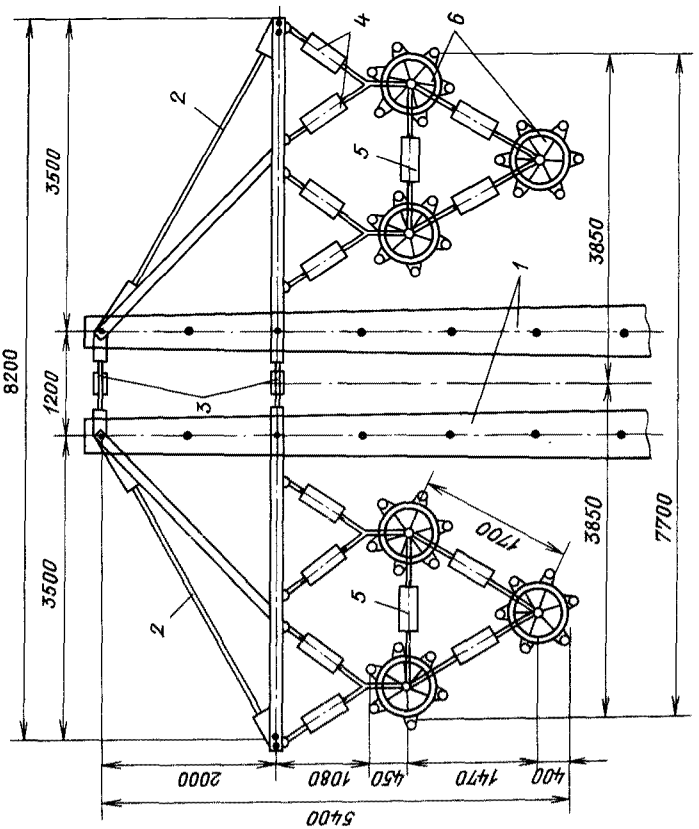


Рис. 1.69. Конструкция крепления фаз на промежуточной железобетонной опоре:
1 — стойка железобетонная унифицированная; *2* — траверса стальная; *3* — муфта стяжная; *4* — гирлянда из двух изоляторов ПСД-70ДМ; *5* — изолятор фиксаторный; *6* — зажим для фазы из 3—12 проводов А600

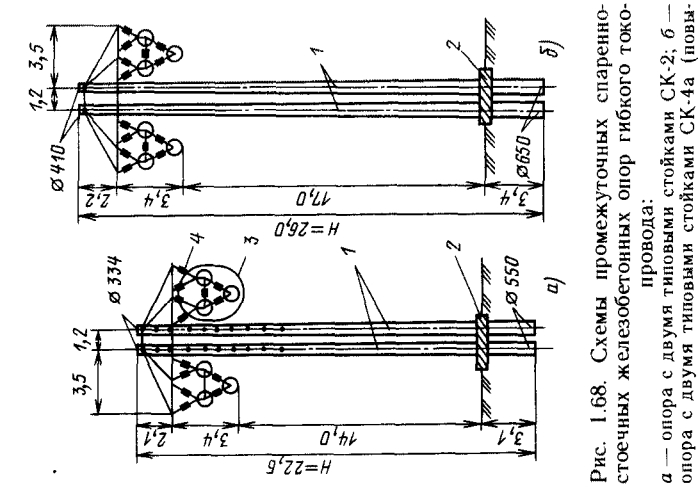


Рис. 1.68. Схемы промежуточных спаренностоечных железобетонных опор гибкого токопровода:
а — опора с двумя типовыми стойками СК-2; *б* — опора с двумя типовыми стойками СК-4а (повышенная на 3 м); *1* — стойка; *2* — железобетонный ригель; *3* — узел крепления трех фаз на 3—12 проводов; *4* — гирлянда из двух изоляторов ПСД-70ДМ

Таблица 1.66. **Основные характеристики гибких токопроводов при максимальной плотности тока (по нагреву)** $1{,}7 \cdot 10^6$ А/м^2

Число, марка и сечение проводов на фазу	Сечение проводов в фазе, мм^2	Допустимый длительный ток по нагреву, А	Индуктивное сопротивление фазы, Ом/км	Активное сопротивление фазы, Ом/км	Потеря напряжения при предельной нагрузке и cos φ = =0,9 кВ/км	Передаваемая мощность при полной нагрузке, МВ·А, при напряжении, кВ		Масса проводов фазы, т/км	Диаметр расщепления фазы, м
						6,3	10,5		
3×А600	1761	3000	0,174	0,0167	0,48	32,7	54,4	5	0,8
4×А600	2348	4000	0,135	0,0125	0,49	43,6	72,5	6,65	0,8
5×А600	2935	5000	0,127	0,01	0,56	54,5	90,7	8,3	0,8
6×А600	3522	6000	0,121	0,0083	0,63	65,4	109	10	0,8
7×А600	4109	7000	0,118	0,0072	0,7	76,3	127	11,7	0,8
8×А600	4396	8000	0,115	0,0063	0,78	87	145	13,35	0,8
9×А600	5283	9000	0,113	0,0056	0,85	98	163	15	0,8
10×А600	5870	10 000	0,112	0,005	0,93	109	182	16,7	0,8
11×А600	6457	11 000	0,111	0,0046	1	120	200	18,3	0,8
12×А600	7044	12 000	0,110	0,0042	1,08	131	218	20	0,8

Примечания: 1. Токопровод допускает присоединение к источникам питания при ударном токе трехфазного КЗ до 400 кА.
2. Коэффициент добавочных потерь при выполнении внутрифазовой транспозиции 1,025.
3. Индуктивное сопротивление указано при расстоянии между центрами фаз одной цепи 170 см.

1.26. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕСТКИХ И ГИБКИХ ТОКОПРОВОДОВ

Технико-экономические расчеты. При проектировании производится технико-экономическое сравнение вариантов схем питающей сети промпредприятия от внешних источников электроснабжения (применение кабелей, жестких или гибких токопроводов 6—10 кВ, системы глубокого ввода напряжения 110—220 кВ и т. д.).

Выбор вида проводников и конструктивного исполнения токопроводов промпредприятий должен производиться с учетом особенностей генплана и размещения основных электрических нагрузок на основании технико-экономических сравнений вариантов. При сравнении следует учесть стоимость той части территории, которая специально отводится для прокладки токопровода. При равных или близких экономических показателях сравниваемых вариантов предпочтение следует отдавать токопроводам заводского изготовления или токопроводам, в которых максимально используются конструкции, детали и арматура заводского изготовления.

Сечение фаз токопровода должно быть выбрано по экономической плотности тока и проверено по длительно допустимому току в послеаварийном режиме (при передаче полной мощности по одной цепи) с учетом перспективного роста нагрузок, но не более чем на 25—30 % расчетных.

Экономическое сечение мощных токопроводов, работающих с большим числом часов использования максимума нагрузки, следует согласно ПУЭ выбирать на основании технико-экономического расчета. Наивыгоднейшее сечение $s_э$ (или экономическая плотность тока $j_э$) двухцепного токопровода при данном токе нормального режима одной цепи I (А) и при известной стоимости 1 кВт максимальных потерь m, руб./(кВт·год) ($s_э$ — в мм^2; $j_э$ — в А/мм^2), в общем случае составляет [7]

$$s_э = I\sqrt{\frac{6\rho m k_{доб}}{Ea}}; \qquad (1.103)$$

$$j_э = \sqrt{\frac{Ea}{6\rho m k_{доб}}}\,10^6, \qquad (1.104)$$

где ρ — удельное активное сопротивление проводникового материала, мкОм·м; E — суммарный коэффициент отчислений от капитальных вложений (при нормативном коэффициенте эффективности $E_н = 0{,}12$ суммарный коэффициент отчислений для токопроводов можно принимать $E_н = 0{,}16$); a — зависимая от сечения составляющая удельной стоимости двухцепного токопровода, руб/(км·мм^2):

$$a = \frac{K_2 - K_1}{s_2 - s_1};$$

$k_{доб}$ — коэффициент добавочных потерь; K_1, K_2 — капиталовложения в двухцепный токо-

провод (жесткий или гибкий) соответственно при сечениях фаз s_1 и s_2, руб/км.

Значения экономического сечения или экономической плотности тока, полученные по (1.103) и (1.104), следует округлить до ближайшего меньшего стандартного значения, характерного для данного токопровода.

Полученное экономическое сечение фазы проверяют по нагреву (по допустимой длительной токовой нагрузке согласно ПУЭ) в послеаварийном режиме при передаче полной мощности по одной цепи, так чтобы $I_{ав} \leqslant I_{доп}$, где $I_{ав}$ и $I_{доп}$ — соответственно токи послеаварийного режима и длительный допустимый по ПУЭ.

В большинстве случаев реального проектирования проверка по нагреву не вызывает необходимости увеличивать сечение фазы, выбранное по экономической плотности тока.

В табл. 1.64 и 1.66 приведены допустимые длительные токовые нагрузки фаз с учетом нагрева токопроводящего материала до 70 °С при температуре воздуха 25 °С (согласно ПУЭ) для токопроводов наиболее распространенных конструктивных исполнений.

Электрические расчеты. Активное сопротивление фазы жесткого или гибкого токопровода при переменном токе больше сопротивления того же сечения при постоянном токе вследствие проявлений поверхностного эффекта и эффекта близости. Активные сопротивления жестких токопроводов с учетом коэффициента добавочных потерь приведены в табл. 1.64.

Активное сопротивление расщепленной фазы гибкого токопровода

$$R = \frac{R_0 k_{доб}}{n}, \qquad (1.105)$$

где n — число проводов в фазе; R_0 — сопротивление 1 км провода при постоянном токе, Ом/км (для провода А600 по ГОСТ 839—80Е $R_0 = 0{,}049$ Ом/км); $k_{доб}$ — коэффициент добавочных потерь, равный при наличии внутрифазовой транспозиции 1,025, а при ее отсутствии 1,25. Технология выполнения внутрифазовой транспозиции приведена в [12].

Индуктивные сопротивления жестких токопроводов приведены в табл. 1.64.

Индуктивное сопротивление фазы гибкого токопровода с расщепленными фазами любого напряжения, Ом/км,

$$x = 0{,}144 \lg \frac{D_ф}{r_{экв}} + 0{,}016, \qquad (1.106)$$

где $D_ф$ — расстояние между центрами расщепленных фаз данной цепи, см; $r_{экв}$ — радиус эквивалентного одножильного провода, см:

$$r_{экв} = \sqrt[n]{r D_{срг}^{n-1}}; \qquad (1.107)$$

здесь n — число проводов расщепленной фазы; r — действительный радиус одного провода, см;

$$D_{срг} = \sqrt[n-1]{D_1 D_2 D_3 \ldots D_{n-1}}$$

— среднегеометрическое расстояние между проводами расщепленной фазы, см; D_1, D_2 и т. д.— расстояния от одного провода расщепленной фазы до остальных $n-1$ проводов (рис. 1.70).

Отклонения напряжения у всех, в том числе наиболее удаленных и ближайших электроприемников, питающихся от токопровода, не должны в любых длительных режимах превышать значений, регламентируемых ГОСТ 13109—67*.

Несимметрия напряжения или величина обратной последовательности напряжения в конце токопровода в нормальном режиме не должна превышать 2 %. Несимметрия фазных напряжений в цепи a', b', c' двухцепного симметричного токопровода (жесткого или гибкого) длиной l, возникшая в результате влияния тока I соседней цепи a, b, c, определяется, %, как

$$U_{-} = \frac{2{,}78 \cdot 10^{-3} l I \times}{U_{ном}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \times \sqrt{\left(0{,}866 \lg \frac{d_{ac'} d_{bb'} d_{ca'}}{d_{ab'} d_{ba'} d_{cc'}}\right)^2 + } \rightarrow$$

$$\rightarrow + \left(\lg \frac{d_{aa'} d_{bc'} d_{cb'}}{\sqrt{d_{ab'} d_{ac'} d_{ba'} d_{bb'} d_{ca'} d_{cc'}}}\right)^2, \qquad (1.108)$$

где $d_{ab'}$, $d_{bb'}$ и т. д.— расстояния между центрами соответствующих фаз цепей a, b, c, a', b', c', см; I — ток нормального режима цепи a, b, c, А; l — длина рассматриваемого участка токопровода, км; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, кВ.

Наведенное напряжение в неработающей цепи a, b, c от тока $I_{уд}$ при КЗ в соседней цепи определяется следующим образом:

$$U' = 0{,}077 I_{уд} l \times$$

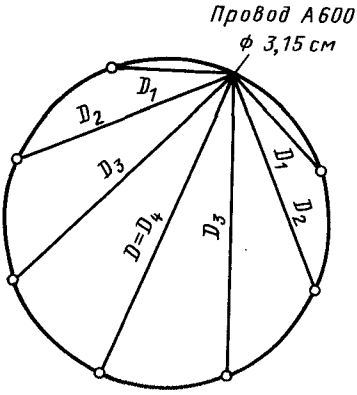


Рис. 1.70. Схема сечения фазы, расщепленной на восемь проводов

$$\times\sqrt{\left(0{,}866\lg\frac{d^3_{ca'}}{d^3_{ba'}}\right)+\rightarrow}$$

$$\rightarrow+\left(\lg\frac{d^3_{aa'}}{\sqrt{d^3_{ba'}d^3_{ca'}}}\right)^2, \qquad (1.109)$$

где $I_{уд}$ — действующее значение ударного тока КЗ в соседней цепи двухцепного токопровода, А; l — длина рассматриваемого участка токопровода, км; $d_{ca'}$, $d_{ba'}$ и т. д.— расстояния между центрами соответствующих фаз цепей a, b, c и a', b', c'.

Схема взаиморасположения фаз двухцепного токопровода представлена на рис. 1.71.

Для ограничения наведенного напряжения при проведении каких-либо работ на отключенной цепи следует из соображений техники безопасности подключать заземляющие

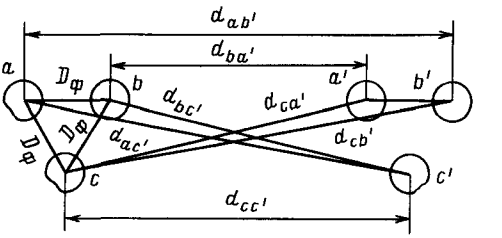


Рис. 1.71. Схема взаимного расположения фаз двухцепного симметричного токопровода

закоротки в начале, в конце и при необходимости в промежуточных точках. Число закороток предусматривается с учетом ограничения наведенного напряжения в неработающей цепи при КЗ в соседней цепи до значения не более 250 В. Несимметрия напряжения, т. е. наведенное напряжение обратной последовательности в процентах номинального фазного напряжения в нормальном режиме, а также полное наведенное напряжение в отключенной цепи при КЗ в соседней цепи, рассчитанные по (1.108) и (1.109), для некоторых исполнений шинопроводов приведены в табл. 1.67.

Расположение трассы токопровода и РП на генплане. Рациональное расположение трассы токопровода определяется с учетом особенностей генерального плана данного предприятия, требований ПУЭ по допустимым приближениям токоведущих частей к наземным инженерным сооружениям и фундаментов к подземным коммуникациям, а также с учетом требований соответствующих ведомственных инструкций (противопожарных и др.).

При расположении токопроводов параллельно с технологической эстакадой в главном

Таблица 1.67. **Несимметрия напряжения в нормальном режиме и наведенное напряжение в неработающей цепи при КЗ в соседней цепи**

Токопроводы	Несимметрия напряжения, % номинального напряжения	Наведенное напряжение при КЗ в соседней цепи, В
Жесткие трубчатые по типовому проекту ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект»	$0{,}05\cdot10^{-3}\frac{Il}{U_{ном}}$	$0{,}018I_{уд}l$
Гибкие с расщепленными фазами:		
на металлических опорах (расстояние между осями цепей 7 м, между осями фаз 2 м)	$0{,}15\cdot10^{-3}\frac{Il}{U_{ном}}$	$0{,}027I_{уд}l$
на железобетонных опорах (расстояние между осями цепей 5,2 м, между осями фаз 1,7 м)	$0{,}18\cdot10^{-3}\frac{Il}{U_{ном}}$	$0{,}030I_{уд}l$

Примечание. I — ток нормального режима одной цепи, А; $I_{уд}$ — действующее значение ударного тока трехфазного КЗ, А; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, кВ; l — длина рассматриваемого участка токопровода, км.

коммуникационном коридоре наиболее экономично размещать их по площади параллельно оси технологической эстакады на расстоянии 18—22 м между осями (в зависимости от ширины эстакады). При такой компоновке целесообразно с точки зрения экономии территории расположить один ряд тросовых молниеотводов по оси стоек компенсаторов трубопроводов эстакады. Менее экономичная компоновка по использованию территории получается при прокладке автодорог между токопроводом и эстакадой, однако в этом случае обеспечивается двусторонний подъезд к токопроводу и улучшаются условия обслуживания эстакады. Рекомендуется располагать трассу токопровода в средней зоне коммуникационного коридора.

В отдельных случаях наиболее экономичное решение заключается в подвеске токопровода к кронштейнам, закрепленным в стене производственного корпуса. Конструктивное совмещение токопровода с технологической эстакадой согласно ПУЭ не разрешается.

Путем технико-экономических сопоставлений вариантов определяют количество и местоположение РП 6—10 кВ, питаемых по токопроводу. Отдельно стоящие РП обычно размещают в зоне полосы отвода токопровода, а встроенные — в ближайших энергоемких корпусах. Встроенному РП соответствует наименьшая длина распределительной кабельной сети. Преимущество отдельно стоящих РП заключается в независимости этих основных питающих узлов от очередности строительства и строительной готовности корпусов предприятия.

Расчет электродинамической стойкости жестких токопроводов. Расчетом определяются места установки междуфазных распорок по условиям обеспечения нормативных запасов прочности шин и изоляторов при КЗ с учетом кривой распределения тока КЗ в точках, последовательно удаленных от источника питания, по длине токопровода. Согласно ПУЭ усилия, действующие на жесткие шины и передающиеся ими на изоляторы и поддерживающие конструкции, рассчитываются по наибольшему мгновенному значению тока трехфазного замыкания с учетом сдвига между токами в фазах и без учета механических колебаний шинной конструкции. В трехфазных токопроводах сила электродинамического взаимодействия зависит от взаимного расположения фаз. При расположении фаз в одной плоскости наибольшее импульсное усилие при КЗ приходится на среднюю фазу, Н [5].

$$F = 17{,}3 i_{уд}^{(3)2} \frac{l}{d} 10^{-2}, \qquad (1.110)$$

где $i_{уд}^{(3)}$ — ударный ток трехфазного КЗ, кА; d — расстояние между осями шин, м; l — длина шин, м.

На крайние фазы это усилие несколько меньше, Н,

$$F = 16{,}2 i_{уд}^{(3)2} \frac{l}{d} 10^{-2}. \qquad (1.111)$$

При симметричном расположении фаз по вершинам равностороннего треугольника усилия для всех фаз одинаковы и равны усилию для средней фазы при горизонтальном расположении по (1.110). В некоторых случаях вместо суммарной силы F удобнее пользоваться усилием, приходящимся на 1 см длины шины, т. е. $f = F/l$.

Проверка шин на механическую прочность КЗ сводится к поперечному расчету на их изгиб, причем шина рассматривается как балка, свободно лежащая на опорах с одним закрепленным концом.

Максимальный изгибающий момент, действующий на шину при трех пролетах и более, Н·м,

$$M = \frac{Fl}{10} = \frac{fl^2}{10}. \qquad (1.112)$$

Напряжение материала шин при изгибе от взаимодействия между фазами при КЗ, Па,

$$\sigma_к = M/W, \qquad (1.113)$$

где W — момент сопротивления сечения шины относительно оси, перпендикулярной направлению действия силы, м^3.

Моменты сопротивления шины различного профиля определяются по формулам:

для одиночных шин прямоугольного сечения при вертикальном расположении, м^3,

$$W = b^2 h/6; \qquad (1.114)$$

для двухполосных пакетов при жестком соединении полос пакета, м^3,

$$W = 1{,}44 b^2 h; \qquad (1.115)$$

для трубчатых шин, м^3,

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D}, \qquad (1.116)$$

где D и d — внешний и внутренний диаметры трубы, м.

Значение W для шин швеллерного сечения принимается по данным соответствующего ГОСТ на швеллеры (для оси y).

Проверка прочности шин при КЗ выполняется с учетом максимальных напряжений в материале шин в нормальном режиме

$$\sigma_к + \sigma_{н.р} \leqslant \sigma_{доп}, \qquad (1.117)$$

где $\sigma_к$ — по (1.113); $\sigma_{н.р}$ — максимальное на-

пряжение в материале шин при нормальном режиме; $\sigma_{доп}$ — допускаемое напряжение в аварийном режиме.

Если полученное значение $\sigma_к+\sigma_{н.р}>\sigma_{доп}$, следует уменьшить пролет между изоляторами (между распорками подвесного токопровода).

Допустимое напряжение в шинах $\sigma_{доп}$ согласно ПУЭ равно 0,7 предела прочности материала шин. По ГОСТ 15176—84 предел прочности алюминиевых шин $\sigma_{доп}=6860\cdot10^4$ Па, шин из сплава АД3-Т1 $196\cdot10^6$ Па. Следовательно, $\sigma_{доп}$ алюминиевых шин $4800\cdot10^4$ Па, из сплава АД31-Т1 — $137\cdot10^6$ Па. В результате отжига шин при сварке их прочность по шву снижается ($\sigma_{доп}=7850\cdot10^4$ Па).

Если фаза выполнена из двух и более шин прямоугольного сечения или двух шин швеллерного сечения, то каждая из двух шин испытывает усилие не только от взаимодействия с соседними фазами, но также от взаимодействия с шинами пакета данной фазы. Следовательно,

$$\sigma_к=\sigma_ф+\sigma_п, \qquad (1.118)$$

где $\sigma_ф$ — напряжение от изгиба силой междуфазного взаимодействия; $\sigma_п$ — напряжение от изгиба силой взаимодействия между шинами одного пакета.

Сила взаимодействия между шинами для двухполосного пакета на 1 м длины, Н/м,

$$f=2{,}55k_ф i_{уд}^{(3)2}\frac{1}{b}, \qquad (1.119)$$

где $k_ф$ — коэффициент формы, зависящий от размеров шин и расстояния между ними [1.5]; b — расстояние между шинами пакета в свету, м.

Для пакетов из двух швеллеров, обращенных полками друг к другу, Н/м,

$$f_п=5{,}1k_ф i_{уд}^{(3)2}\frac{1}{c}, \qquad (1.120)$$

где c — расстояние между противоположными наружными гранями пакета, м.

Для ограничения дополнительных напряжений от взаимодействия шин пакета между ними устанавливают прокладки (сухари), жестко скрепляющие шины между собой.

Механическое напряжение в материале шины пакета от взаимодействия шин фазы, Па,

$$\sigma_п=\frac{f_п l^2}{12W_y}, \qquad (1.121)$$

где $l_п$ — расстояние вдоль фазы между заплавленными участками пакета, м; W_y — момент сопротивления шин относительно оси $y-y_1$, м^3.

Согласно ПУЭ изгибающие усилия на опорные изоляторы в режиме КЗ не должны превосходить 60 % соответствующих гарантированных значений разрушающих нагрузок:

$$F_{расч}\leqslant0{,}6F_{разр}=F_{доп}. \qquad (1.122)$$

Растягивающие усилия для подвесных изоляторов

$$F_{расч}\leqslant0{,}5F_{разр}=F_{доп}. \qquad (1.123)$$

Для опорных изоляторов разрушающая нагрузка указывается для случая приложения изгибающей силы непосредственно к колпачку изолятора. В действительности точка приложения отстоит от колпачка на расстоянии, равном половине высоты h закрепленной шины плюс толщина нижней прокладки шинодержателя b. Допустимую нагрузку на изолятор принято уменьшать в отношении

$$F'_{доп}=F_{доп}\frac{H_{из}}{H}, \qquad (1.124)$$

где $H_{из}$ — высота изолятора, м; $H=H_{из}+b+\frac{h}{2}$ — расстояние от основания изолятора до горизонтальной оси шины, м.

Максимально допустимое расстояние между изоляторами вдоль шины определяется по формуле, м,

$$l_{max}=34\frac{H_{из}}{H}\frac{dF_{разр}}{i_{уд}^{(3)2}}. \qquad (1.125)$$

Полученное значение пролета округляют до ближайшего меньшего, удобного по конструктивным соображениям. Если опорный изолятор работает не на изгиб, а на сжатие или растяжение, допустимая нагрузка значительно возрастает, однако гарантийные данные для этого случая отсутствуют.

Расчет электродинамической стойкости гибкого токопровода сводится к определению мест установки распорок междуфазных — для предупреждения схлестывания проводов в режиме КЗ и внутрифазных — для ограничения импульсных тяжений, возникающих при стягивании проводов пучка расщепленной фазы к ее центру при обтекании их токами КЗ. Проверка на схлестывание фаз гибкого токопровода выполняется в такой последовательности.

Для каждого пролета гибкого токопровода рассчитываются силы взаимодействия между фазами при двухфазном КЗ (в соответствии с ПУЭ). Независимо от взаимного расположения фаз усилия определяются по формуле, Н,

$$F_ф=20i''^2_{(2)}\frac{l}{d}10^{-2}=$$

$$= 15 I''^2_{(3)} \frac{l}{d} 10^{-2}, \qquad (1.126)$$

где I'' — действующее значение тока КЗ, равное 0,392 $I_{уд}$, кА; l — длина пролета, м; d — расстояние между осями фаз, м.

На 1 м токопровода усилие между фазами составляет, Н,

$$f_ф = 15 I''^2_{(3)} \frac{l}{d} 10^{-2}; \qquad (1.127)$$

здесь $I''_{(3)}$ принимается по соответствующей кривой токораспределения для каждого пролета, последовательно удаленного от источника питания.

По усилиям $f_ф$ для каждого пролета токопровода (принимается усилие, соответствующее току КЗ в середине пролета) определяют максимальное взаимное отклонение фаз, расположенных в одной горизонтальной плоскости по диаграмме на рис. 1.72. Для пользования диаграммой предварительно рассчитывают для каждого пролета параметры $f_ф/g_ф$; $\sqrt{f_{max}}/t_э$, где $f_ф$ — усилие на 1 м фазы, Н; $g_ф$ — нагрузка от 1 м проводов фазы (с учетом распорок), Н; f_{max} — максимальная расчетная стрела провеса провода в каждом пролете, м; $t_э$ — эквивалентное по импульсу время срабатывания защиты. Для цепей генераторов и трансформаторов $t_э = t_д + 0{,}5$ с ($t_д$ — действительная выдержка времени максимальной токовой защиты, с. При отсутствии соответствующих данных $t_д$ принимается 0,3 с).

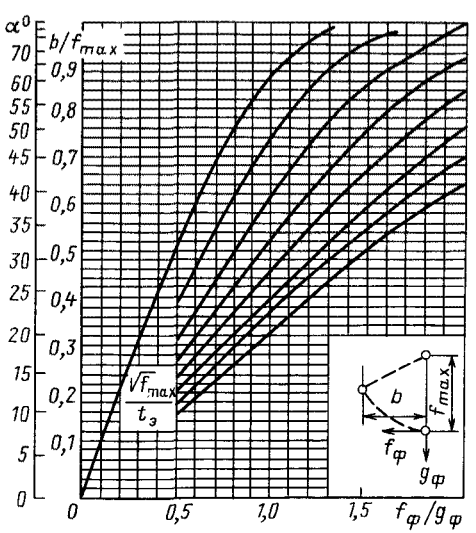


Рис. 1.72. Диаграмма для определения отклонения фазы гибкого токопровода под действием тока КЗ:

f_{max} — наибольшая стрела провеса, м; $t_э$ — эквивалентное по импульсу время действия быстродействующей защиты; $\alpha°$ — угол отклонения провода при КЗ; $f_ф$ — усилие на 1 м пучка проводов фазы (9,8 Н/м); $g_ф$ — нагрузка от 1 м проводов фазы с учетом распорок (9,8 Н/м); b — горизонтальное отклонение фазы, м

Найденное из диаграммы горизонтальное отклонение фазы b сравнивается с допустимым по схлестыванию отклонением, м,

$$b_{доп} = \frac{d - (d_ф + c)}{2}, \qquad (1.128)$$

где d — расстояние между осями фаз, м; $d_ф$ — диаметр расщепленной фазы, м; c — допустимое минимальное расстояние между крайними проводами соседних фаз при их наибольшем сближении, принимаемое 0,2 м.

Если $b > b_{доп}$, предусматривается установка междуфазной распорки в середине пролета, что сокращает расчетную стрелу провеса в 4 раза. Производится вторичный расчет с учетом распорки и сопоставление отклонений b с $b_{доп}$. При необходимости предусматривается установка двух распорок в пролете и т. д. Более двух распорок в пролете обычно не требуется. Затем рассчитываются динамические усилия между проводами одной фазы.

Результирующее усилие на каждый провод от взаимодействия с $n-1$ проводами фазы, Н/м,

$$P_ц = 20{,}0 \frac{n-1}{n^2} \frac{I''^2_{(3)}}{d_ф} 10^{-2}, \qquad (1.129)$$

где n — число проводов в фазе; $d_ф$ — диаметр фазы, м.

По условиям ограничения импульсных усилий в проводах фазы расстояние между внутрифазными распоркамн, м,

$$l_р = k\sigma_{max} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{(k-1)\,\sigma_{max} 24\beta}{(\gamma_к + k\gamma_1)(\gamma_к - k\gamma_1)}}, \qquad (1.130)$$

где $k = \sigma_к/\sigma_{max}$ — коэффициент допустимого увеличения амплитуды напряжения в проводе при КЗ по отношению к σ_{max}, принимается равным 1,8; σ_{max} — максимальное напряжение в проводе в нормальном режиме (при $t = -40$ °С или гололеде и $t = -5$ °С); β — коэффициент упругого удлинения материала провода (для алюминия $\beta = 16{,}2 \cdot 10^{-12}$ м²/Н); γ_1 — удельная нагрузка от собственной массы провода; $\gamma_к$ — удельная нагрузка от сил взаимодействия к центру фазы при КЗ, Н/м³:

$$\gamma_к = \frac{P_ц}{s};$$

здесь $P_ц$ — усилие к центру фазы на один провод, Н/м (1.129); s — сечение провода, мм^2.

Число распорок, необходимых по условиям ограничения импульсных тяжений, быстро снижается в пролетах, последовательно удаленных от шии источника питания. В конце токопровода внутрифазные распорки устанавливаются на расстоянии $l_р = 15 \div 20$ м для фиксации пучка расщепленной фазы.

Проверяется прочность конструктивных элементов, воспринимающих нагрузку, в режнме КЗ. На междуфазные распорки действует сила, Н,

$$N_ф = f_ф \frac{l}{m+1}, \qquad (1.131)$$

где m — число междуфазных распорок в пролете; l — расстояние между опорами, м.

Внутрифазные распорки воспринимают усилия от каждого провода, направленные к центру фазы,

$$N_ц = P_ц l_р, \qquad (1.132)$$

где $l_р$ — расстояние между распорками внутрн фазы, м; $P_ц$ — усилие к центру фазы на 1 м, Н/м ($l_р$ принимается с учетом междуфазных распорок в пролете).

Узлы аикериого креплеиия воспрннимают импульсные нагрузки при КЗ от каждого провода, Н,

$$N_а = k\sigma_{max} s = k I_{max}. \qquad (1.133)$$

Наименьшие допустимые запасы прочности для узлов, воспринимающих нагрузки в режиме КЗ, принимают 1,8 (согласно ПУЭ).

Выбор изоляции и арматуры. Изоляцию жестких и гибких токопроводов 6—10 кВ для систем электроснабжения ответственных промышленных потребителей согласно ПУЭ рекомендуется выбирать с учетом нормативных требований для изоляции открытых токопроводов РУ на следующую ступень по нормативному напряжению, т. е. на 20 кВ. Для атмосферы, загрязненной промышленными уносами, изоляция должна быть проверена по длине путн утечки.

Коэффициент запаса механической прочности для подвесных изоляторов жесткнх и гибких токопроводов при максимальных нормативных нагрузках по отношению к гарантированной прочиости рекомендуется принимать: не менее 3 — для нормального режима; 5 — для среднеэксплуатационных условий; 1,8 — для режима КЗ.

Рекомеидуется применять изоляторы из закаленного стекла, имеющне преимущество перед фарфоровыми в отношении выявления иулевых изоляторов в процессе эксплуатации.

Таблица 1.68. **Сравнительные характеристики жестких и гибких токопроводов 10(6) кВ**

Основные характеристики токопроводов	Жесткие	Гибкие	
		на железобетоиных опорах	на металлических опорах
Наибольшая передаваемая мощность при полной нагрузке в послеаварийном режиме, мВ·А (работает одна цепь токопровода), при номинальном напряжении, кВ:			
6,3	65	130	
10,5	10,8	215	
Наибольшая длина токопровода по потере напряжения в послеаварийном режиме (cos φ=0,9, при возможности регулирования напряжения на шинах источника питания, без промежуточного отбора мощности), км, при номинальном напряжении, кВ:			
6,3	0,98	0,7	
10,5	1,63	1,15	
Коэффициент добавочных потерь (для гибкого токопровода при внутрифазной транспозиции проводов)	1,1	1,025	
Максимально допустимое значение ударного тока КЗ на шинах источника питания, кА	200	400	
Расстояние между крайними точками фаз разных цепей, м	5,6	7,7	9,8
Ширина полосы отвода территории под двухцепный токопровод на генплане, м	9,6	14,7	16,8
Наибольший пролет между промежуточными опорами, м	12—20	50—100	
Высота траверсы опоры над уровнем фундаментов, м	10,5	17,4—20,4	15—25

Механический расчет проводов, выполняемый по методике, принятой для обычных ВЛ, имеет следующие особенности. Максимальное нормативное тяжение в проводах определяется не по прочности их (как для ВЛ), а соответствующим технико-экономическим расчетом по выбору экономического тяжения проводов расщепленной фазы токопровода, выполняемого при разработке строительного задания на специальные опоры токопровода. Для гибкого токопровода с расщепленными фазами максимальное нормативное тяжение на фазу составляет 49 кН при расщепленной фазе до шести проводов А600, 98 кН — при большем числе проводов А600 в фазе.

Максимальное нормативное напряжение в проводе определяется по выражению, Па,

$$\sigma_{max} = \frac{T_{ф(э)}}{nS}, \qquad (1.134)$$

где $T_{ф(э)}$ — экономическое максимальное тяжение проводов на фазу, Па; n — число проводов в фазе; s — сечение одного провода, мм^2.

Максимальная температура провода принимается с учетом нагрева током в послеаварийном режиме, т. е. 70 °С. Для указанной температуры проверяют все вертикальные размеры, требуемые ПУЭ для ВЛ соответствующего напряжения. При расчете следует учитывать дополнительные нагрузки на провода от массы между- и внутрифазных распорок. Расчетные климатические условия принимают по ряду наблюдений с повторяемостью 1 раз в 10 лет. Стрелы провеса в монтажных таблицах рекомендуется указывать для всех пролетов с учетом эксплуатационной вытяжки.

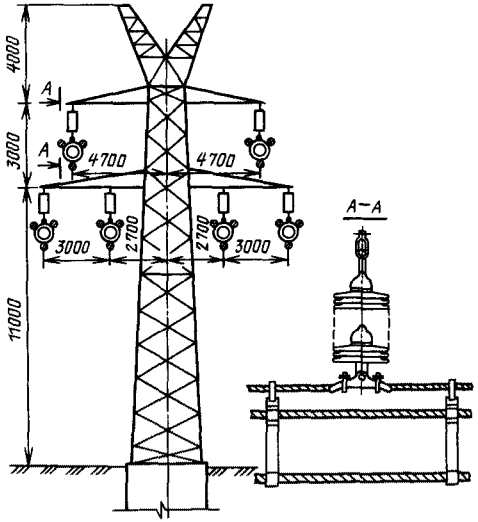


Рис. 1.74. Токопровод 35 кВ с фазами из трех проводов А600

Сравнительные характеристики жестких и гибких токопроводов 10 (6) кВ для выбора его конструкции при решении рациональной схемы электроснабжения проектируемого объекта приведены в табл. 1.68.

Из данных табл. 1.68 следует, что наибольшая пропускная способность гибкого токопровода с фазами из 12 проводов марки АСК-600 превосходит пропускную способность типового жесткого токопровода с фазами из алюминиевых труб марки кр210×10 примерно в 2 раза. Однако предельная длина гибкого

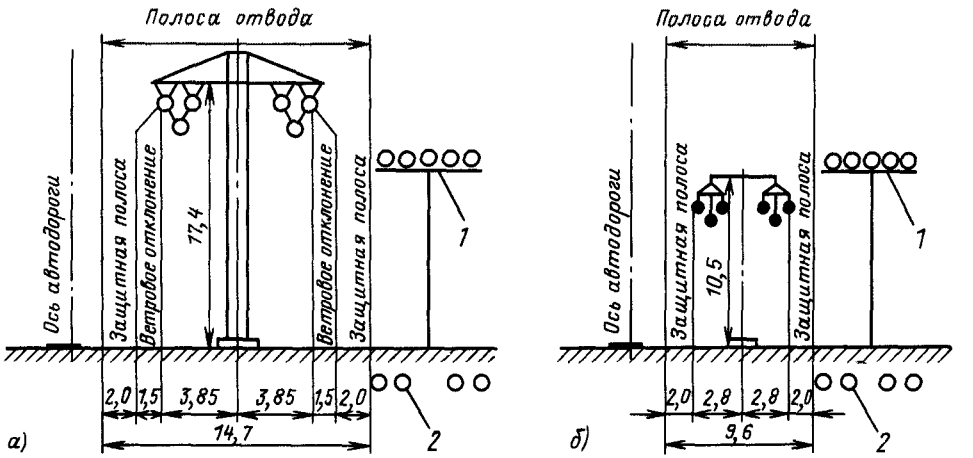


Рис. 1.73. Схема полосы отвода территории на генплане для прокладки:
а — гибкого токопровода; *б* — жесткого токопровода; *1* — эстакада технологических трубопроводов; *2* — подземные технологические трубопроводы

токопровода по потере напряжения в послеаварийном режиме или при эксплуатационной профилактике (когда работает одна цепь токопровода) меньше предельной длины жесткого токопровода на 40 %. Это объясняется значительной потерей напряжения при передаче вдвое большей мощности в одном электрическом канале. Расчет потери напряжения выполнен без учета промежуточного отбора мощности по длине токопровода.

Габариты токопроводов в табл. 1.66 свидетельствуют о том, что жесткий токопровод значительно компактнее гибкого как в плане, так и по высоте опор. Большой диаметр расщепления проводов фазы (800 мм), а также ветровое отклонение проводов обусловили соответствующее увеличение полосы отвода для прокладки гибкого токопровода (рис. 1.73).

Полосу отвода согласно [1.1, 1.7, 1.9] необходимо учитывать в технико-экономических расчетах при выборе рациональной схемы электроснабжения в том случае, когда выделение полосы отвода приводит к расширению территории промплощадки предприятия. Усредненная условная «стоимость земли» промплощадки с учетом стоимости подготовки территории и всех инженерных коммуникаций задается организацией, проектирующей генплан данного объекта.

Небольшой пролет между опорами, а также небольшая высота подвеса цепей жесткого токопровода над уровнем площадки в ряде случаев затрудняют расположение опор на территории, занятой подземными коммуникациями, а пересечение токопровода с эстакадами и транспортными коммуникациями требует высоких переходных опор.

С другой стороны, жесткие токопроводы благодаря применению ряда изделий заводского изготовления обеспечивают повышенную по сравнению с гибкими степень индустриализации электромонтажных работ. Поэтому при одинаковых или близких экономических показателях гибких и жестких токопроводов следует отдавать предпочтение последним.

Для напряжения 35 кВ разработан гибкий токопровод с фазами из трех проводов А600, подвешенных на стальном тросе С-70, закрепленном на металлических опорах (рис. 1.74). Токопровод рассчитан на передачу мощности до 120 МВ·А.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. ВНУТРИЦЕХОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

А. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ШИН, ПРОФИЛЕЙ, ТРУБ, СТАЛЬНЫХ ПОЛОС, ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ, КАБЕЛЕЙ

2.1. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ШИНЫ, ПРОФИЛИ, ТРУБЫ, СТАЛЬНЫЕ ПОЛОСЫ

Таблица 2.1. **Шины (сокращенный сортамент)**

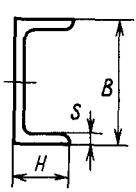
Размеры, мм	Алюминиевая (ГОСТ 15176—89Е)		Медная (ГОСТ 434—78*)	
	Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м шины, кг	Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м шины, кг
3×15	44	0,119	—	—
3×20	60	0,163	—	—
3×25	74	0,2	—	—
3×30	89	0,24	—	—
3×40	119	0,321	—	—
4×20	79	0,213	—	—
4×25	99	0,267	—	—
4×30	119	0,321	—	—
4×40	159	0,429	159,52	1,42
4×50	199	0,537	199,52	1,78
4×60	239	0,645	239,52	2,13
4×80	319	0,861	319,52	2,48
4×100	399	1,077	399,52	3,2
5×20	99	0,267	—	—
5×40	199	0,537	199,1	1,78
5×50	249	0,672	249,1	2,23
5×60	299	0,807	299,1	2,67
5×80	399	1,074	399,1	3,55
5×100	499	1,347	499,1	4,44
6×30	177	0,478	179,1	1,6
6×50	297	0,802	299,1	2,67

Продолжение табл. 2.1

Размеры, мм	Алюминиевая (ГОСТ 15176—89Е)		Медная (ГОСТ 434—78*)	
	Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м шины, кг	Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м шины, кг
6×80	477	1,288	479,1	4,27
6×100	597	1,612	599,1	5,34
8×40	317	0,856	318,1	2,85
8×50	397	1,072	398,1	3,56
8×60	477	1,288	478,1	4,25
8×80	637	1,72	638,1	5,7
8×100	797	2,152	798,1	7,11
8×120	957	2,584	958,1	8,54
10×60	597	1,612	598,1	5,34
10×80	797	2,152	798,1	7,11
10×100	997	2,692	998,1	8,9
10×120	1197	3,232	1198,1	10,68
10×160	1597	4,312	—	—
12×100	1192	3,218	—	—
12×120	1332	3,596	—	—
12×160	1912	5,163	—	—

Примечание. Шины изготовляют длиной: 3—6 м — медные; 3—6 м — алюминиевые при площади поперечного сечения до 80 м^2 и 3—8 м при площади поперечного сечения свыше 80 мм^2.

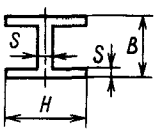
Таблица 2.2. **Швеллеры (сокращенный сортамент)**



Номер профиля (ГОСТ 15176—89Е)	Размеры, мм			Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м алюминиевого профиля, кг
	H	*B*	*s*		
440295	35	75	4	520,5	1,411
440362	45	100	6	1011,3	2,741
440416	55	125	8	1655,9	4,487
440440	65	150	7	1780,9	4,826
440479	80	175	8	2442,1	6,618
440535	90	200	10	3436,9	9,314
440501	100	100	7	1932,9	5,238
440524	150	150	8	3376,0	9,149
440530	200	200	13,5	7471,9	20,249

Примечаиие. Профили изготовляют длиной 3—10 м.

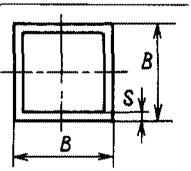
Таблица 2.3 **Двутавр (ГОСТ 15176—89Е)**



Номер профиля	Размеры, мм			Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса на 1 м алюминиевого профиля, кг
	H	*B*	*s*		
430141	68	43	8	1304	3,534

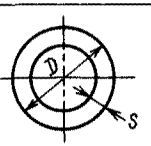
Примечание. Профили изготовляют длиной 3—10 м.

Таблица 2.4. **Полые квадраты (ГОСТ 15176—89Е)**

Номер профиля	Размеры, мм		Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м алюминиевого профиля, кг	Чертеж
	B	*s*			
120017	60	4	855,7	2,319	
120023	70	4	1014,8	2,750	
120024	80	5	1435,6	3,890	
120025	80	10	2548,0	6,905	
120026	90	5	1635,6	4,432	

Примечание. Профили изготовляют длиной 3– 10 м.

Таблица 2.5. **Трубы (ГОСТ 15176—89Е)**

Размеры, мм		Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м алюминневой трубы, кг	Чертеж
D	*s*			
140	10	4082	11,062	
210	10	6200	16,802	
250	10	7500	20,325	

Примечание. Трубы изготовляют длиной 3—9 м.

Таблица 2.6. **Полосы (сокращенный сортамент, ГОСТ 103—76*)**

Размеры, мм	Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м стальной полосы, кг	Размеры, мм	Площадь поперечного сечения, мм^2	Масса 1 м стальной полосы, кг
4×20	80	0,63	6×30	180	1,41
4×25	100	0,78	6×50	300	2,36
4×30	120	0,94	6×60	360	2,83
4×40	160	1,26	6×80	480	3,77
4×50	200	1,57			
4×60	240	1,88	8×40	320	2,51
4×80	320	2,51	8×50	400	3,14
			8×60	480	3,77
5×40	200	1,57	8×80	640	5,02
5×50	250	1,96	8×100	800	6,28
5×60	300	2,36			
5×80	400	3,14	10×60	600	4,71
			10×80	800	6,28
			10×100	1000	7,85

Примечание. Полосы изготовляют длиной 3—10 м.

2.2. ПРОВОДА

Таблица 2.7. **Основные технические**

Марка провода	Число жил	Напряжение, кВ	Наружный диаметр, мм / Масса 1 км провода, кг									
			0,5	0,75	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4	
Провода с рези												
ПРТО	1	0,66	—	3,7 / 19,8	3,8 / 23,1	—	4,1 / 29,1	—	4,5 / 40,5	—	5 / 56,7	
	2		—	—	7,5 / 56,1	—	8 / 68,5	—	9 / 88,3	—	10 / 123	
	3		—	—	7,9 / 79	—	8,8 / 97	—	9,6 / 126	—	10,6 / 178	
	7		—	—	—	—	11,6 / 213	—	12,8 / 294	—	14,2 / 415	
АПРТО	1	0,66	—	—	—	—	—	—	4,5 / 24,5	—	5 / 31,8	
	2		—	—	—	—	—	—	9 / 57,1	—	10 / 72,4	
	3		—	—	—	—	—	—	9,6 / 79,5	—	10,6 / 102	
	7		—	—	—	—	—	—	12,8 / 169	—	14,2 / 223	
ПРН	1	0,66	—	3,1 / 19,1	3,5 / 22,3	—	3,8 / 28,1	—	4,2 / 39,2	—	4,7 / 55,1	
АПРН	1	0,66	—	—	—	—	—		4,2 / 23,8	—	4,7 / 30,5	
ПРГН	1	0,66	—	3,5 / 22,2	3,6 / 25,2	—	3,9 / 31,9	—	4,1 / 44,7	—	5 / 62	
АППР	2	0,66	—	—	—	—	—	—	5×14 / 80,5	—	5,6×15.2 / 96,6	
	3		—	—	—	—	—	—	5×19 / 117	—	—	
	4		—	—	—	—	—	—	12,1 / 150	—	13,5 / 183	
ПРП	1	0,66	—	—	5,8 / 71	—	6,1 / 78,7	—	6,6 / 103	—	7,1 / 121	
	2		—	—	9,1 / 124	—	9,7 / 145	—	10,7 / 189	—	11,7 / 227	
	3		—	—	9,6 / 156	—	10,2 / 181	—	11,3 / 234	—	12,4 / 293	
	4		—	—	10,5 / 186	—	11,2 / 220	—	12,4 / 287	—	13,6 / 362	
ПРРП	1	0,66	—	—	7,6 / 106	—	7,9 / 115	—	8,4 / 137	—	8,9 / 158	
	2		—	—	11,5 / 216	—	12,1 / 241	—	13,1 / 293	—	14,1 / 346	
	3		—	—	12 / 239	—	12,6 / 272	—	13,7 / 335	—	14.8 / 412	
	4		—	—	12,8 / 273	—	13,6 / 314	—	14,8 / 398	—	16.6 / 513	
ПРФ	1	0,66	—	—	4,3 / 40	—	4,6 / 45,3	—	5 / 58	—	5,4 / 75,3	
	2		—	—	7,5 / 75,1	—	7,9 / 88	—	8,7 / 112	—	9,7 / 148	
	3		—	—	7,9 / 96	—	8,5 / 113	—	9,3 / 148	—	10,3 / 200	

ИЗОЛИРОВАННЫЕ

данные проводов (сокращенный сортамент)

при сечении жилы, мм²											ГОСТ, ТУ
5	6	8	10	16	25	50	50	70	95	120	
новой изоляцией											
—	5,5 / 77,8	—	6,7 / 125	8,4 / 205	10,1 / 313	11,3 / 413	13,2 / 556	14,8 / 767	17,1 / 1050	19,3 / 1285	ТУ 16—705.456—87
—	11 / 166	—	13,4 / 265	17,7 / 422	21,1 / 662	23,4 / 871	27,5 / 1186	30,7 / 1609	35,3 / 2197	38,9 / 2714	
—	11,7 / 242	—	14,3 / 389	18,9 / 623	22,5 / 973	25 / 1285	29,5 / 1757	32,9 / 2884	37,9 / 3263	41,6 / 4034	
—	15,7 / 558	—	19,9 / 880	—	—	—	—	—	—	—	
—	5,5 / 39,6	—	6,7 / 61,4	8,4 / 102	10,1 / 151	11,3 / 189	13,2 / 263	14,8 / 341	7,1 / 452	19,3 / 552	
—	11 / 90,2	—	13,4 / 138	17,7 / 211	21,1 / 329	23,4 / 409	27,5 / 556	30,7 / 709	35,3 / 947	38,9 / 1142	
—	11,7 / 128	—	14,3 / 197	18,9 / 306	22,5 / 473	25 / 592	29,5 / 808	32,9 / 1036	37,9 / 1389	41,6 / 1676	
—	15,7 / 278	—	19,9 / 451	—	—	—	—	—	—	—	
—	5,2 / 75,9	—	6,4 / 122	7,9 / 197	9,8 / 308	11 / 407	12,9 / 559	14,7 / 764	17 / 1014	18,6 / 1292	
—	5,2 / 38,8	—	6,4 / 60,2	7,9 / 96,4	9,8 / 149	11 / 187	13,1 / 266	14,7 / 336	17 / 447	18,7 / 538	
—	5,6 / 85	—	6,8 / 129	8,6 / 203	11,9 / 330	12,1 / 425	14,8 / 584	16,6 / 798	19,2 / 1072	21,4 / 1339	
—	6×17 / 120	—	7,2×19,4 / 173	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	14,5 / 224	—	17,3 / 330	—	—	—	—	—	—	—	
—	7,7 / 148	—	8,9 / 215	10,7 / 298	13 / 433	14 / 541	15,9 / 704	19,3 / 966	21,1 / 1266	—	—
—	12,9 / 287	—	15,3 / 432	18,9 / 585	23,5 / 877	25,5 / 1091	29,3 / 1435	36,1 / 1953	39,7 / 2579	—	
—	13,7 / 376	—	16,3 / 591	20,1 / 799	25,1 / 1210	27,3 / 1526	31,3 / 1025	38,7 / 2780	42,5 / 3729	—	
—	15 / 485	—	17,9 / 753	—	—	—	—	—	—	—	
—	9,5 / 194	—	11,3 / 292	13,1 / 365	16 / 548	17 / 657	18,9 / 840	22,7 / 1133	24,5 / 1411	—	
—	15,9 / 471	—	18,3 / 680	22,3 / 885	27,5 / 1344	29,5 / 1627	33,7 / 2127	40,5 / 2925	44,1 / 3741	—	
—	16,7 / 550	—	19,3 / 832	23,5 / 1084	29,1 / 1646	31,3 / 2019	35,7 / 2651	43,1 / 3658	46,9 / 4727	—	
—	18 / 670	—	21,3 / 1003	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Марка провода	Число жил	Напряжение, кВ	Наружный диаметр, мм / Масса 1 кг провода, кг								
			0,5	0,75	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4
АПРФ	1	0,66	—	—	—	—	—	—	5 / 43	—	5,4 / 51
	2		—	—	—	—	—	—	8,7 / 81,5	—	9,7 / 99,2
	3		—	—	—	—	—	—	9,3 / 103	—	10,3 / 127
ПРБШ	1	0,66	—	—	7,2 / 65	7,3 / 72	7,5 / 75	7,8 / 80	8 / 94	8,2 / 100	8,6 / 115
ПГР	1	0,66	—	2,8 / 15	2,9 / 17	—	3,2 / 24	—	3,9 / 38	—	4,6 / 55
ПГРО	1	0,66	—	3,6 / 19	3,7 / 21	—	4 / 27	—	4,7 / 42	—	5,4 / 60
РПШЭк	1	0,6	—	7,7 / 92	7,8 / 96	—	8,1 / 107	—	8,6 / 127	—	—
	2		—	10,4 / 147	10,7 / 157	—	11,3 / 179	—	12,3 / 219	—	13,8 / 273
	3		—	10,8 / 170	11,1 / 183	—	11,8 / 212	—	12,9 / 266	—	14,9 / 352
	4		—	11,5 / 197	11,9 / 214	—	12,6 / 249	—	13,8 / 318	—	—
	5		—	12,3 / 225	12,7 / 245	—	13,5 / 288	—	14,9 / 373	—	—
	6		—	13,2 / 255	13,6 / 278	—	14,5 / 329	—	16,3 / 441	—	—
	7		—	13,2 / 272	13,6 / 297	—	14,5 / 364	—	16,3 / 480	—	—
	14		—	17,4 / 450	18,8 / 523	—	20 / 643	—	22,1 / 858	—	—
Провода с пластмас											
ПВ1	1	0,45	2,4 / 8,5	2,6 / 10,5	2,8 / 13,5	3,1 / 17	3,3 / 19	3,7 / 26	3,9 / 30	4 / 37	4,4 / 45
ПВ2	1	0,45	—	—	—	—	—	3,7 / 27	4,2 / 30	4,4 / 37	4,8 / 47
ПВ3	1	0,45	2,6 / 9	2,8 / 12	3 / 14	3,3 / 18	3,5 / 20	3,7 / 28	4,2 / 31	4,4 / 38	4,8 / 48
ПВ4	1	0,45	2,6	2,8	3	—	3,5	—	4,2	—	4,8
АПВ	1	0,45	—	—	—	—	—	3,7 / 13,5	3,9 / 15,5	4 / 17,5	4,4 / 21,5
ППВ	2	0,38	—	(2,6×6,4) / 21,9	(3×7,2) / 29,5	(3,1×7,4) / 34,3	(3,3×7,8) / 39,8	(3,5×8,2) / 50,3	(3,7×8,6) / 59,3	(4×9,2) / 72,7	(4,4×10) / 92,4
	3		—	(2,6×10,2) / 33,2	(3×11,4) / 44,6	(3,1×11,7) / 51,1	(3,3×12,3) / 60	(3,5×12,9) / 75	(3,7×13,5) / 90,1	(4×14,4) / 105,6	(4,4×15,6) / 138
АППВ	2	0,38	—	—	—	—	—	(3,5×8,2) / 25,2	(3,7×8,6) / 29,3	(4×9,2) / 34,8	(4,4×10) / 43,2
	3		—	—	—	—	—	(3,5×12,9) / 37,6	(3,7×13,5) / 43,2	(4×14,4) / 50,2	(4,4×15,6) / 65
АМПВ (алюмомедные)	1	0,45	—	—	2,8 / 8,6	—	3,3 / 11,1	—	3,9 / 16,1	—	4,4 / 48,2
АМППВ (алюмомедные)	2	0,45	—	—	—	—	3,3×7,6 / 23,6	—	3,7×8,6 / 34,0	—	4,4×10 / 49,7
	3	0,45	—	—	—	—	3,3×12,3 / 36,3	—	3,7×13,5 / 51,3	—	4,4×15,6 / 75,7

Продолжение табл. 2.7

при сечении жилы, мм²											ГОСТ, ТУ
5	6	8	10	16	25	50	50	70	95	120	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8,7 / 125	9,2 / 140	10 / 165	11,6 / 216	13,3 / 325	16,5 / 480	17 / 600	18,6 / 750	22,4 / 990	24,7 / 1300	28,9 / 1580	ТУ 16—505.503—73*
—	5,6 / 80	—	6,9 / 123	8,5 / 192	10,2 / 296	11,5 / 398	13,4 / 542	15,8 / 748	17,9 / 1016	19,8 / 1278	ТУ 16—705.330—84
—	6,4 / 85	—	7,7 / 129	9,3 / 204	11 / 309	12,3 / 412	14,2 / 559	16,6 / 767	18,7 / 1036	20,6 / 1299	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	ТУ 16—505.670—74
—	17 / 394	—	20,5 / 561	—	—	—	—	—	—	—	
—	17,9 / 490	—	21,6 / 716	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
совой изоляцией											
4,6 / 56	4,9 / 64	5,8 / 90	6,4 / 108	8 / 174	9,8 / 274	11 / 366	13 / 490	15 / 700	17 / 970	—	ГОСТ 6323—79* Е
5,2 / 60	5,4 / 69	6,3 / 92	6,8 / 115	8 / 177	9,8 / 280	11 / 370	13 / 515	15 / 700	17 / 975	—	
5,2 / 61	6,3 / 70	7 / 94	7,6 / 116	8,8 / 182	11 / 287	12,5 / 378	14,5 / 520	17 / 720	19 / 980	—	
—	6,3	—	7,6	—	—	—	—	—	—	—	
4,6 / 25	4,9 / 28	5,8 / 40	6,4 / 47	8 / 74	9,8 / 114	11 / 148	13 / 208	15 / 273	17 / 372	19 / 457	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4,6×10,4) / 49,2	(4,9×11) / 57,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4,6×16,2) / 74,8	(4,9×17,1) / 86,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	4,9 / 70,0	—	6,4 / 116,0	—	—	—	—	—	—	—	ТУ 16—705.145—80
—	4,9×11 / 66,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	4,9×17,1 / 102	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Марка провода	Число жил	Напряжение, кВ	Наружный диаметр, мм / Масса 1 км провода, кг								
			0,5	0,75	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4
											Провода
ПВТ1 (105 °С)	1	0,69	2,4 / 8,5	2,6 / 10,5	2,8 / 13,5	3,1 / 17	3,3 / 19	3,7 / 26	3,9 / 30	4 / 37	4,4 / 45
ПВТ2 (105 °С)	1	0,69	—	—	—	—	—	3,7 / 27	4,2 / 30	4,4 / 37	4,8 / 47
ПВТ3 (105 °С)	1	0,69	2,6 / 9	2,8 / 12	3 / 14	3,3 / 18	3,5 / 20	3,7 / 28	4,2 / 31	4,4 / 38	4,8 / 48
ПВВТ (105 °С)	1	0,38	—	2,5 / 11,9	2,7 / 15,9	—	3,1 / 21,3	—	3,5 / 33,5	—	4,3 / 49,8
РКГМ (180 °С)	1	0,66	—	3,5 / 18,4	3,6 / 21	3,7 / 23,8	3,9 / 27	4,3 / 32,7	4,6 / 41,7	4,8 / 48	5,4 / 58,9
ПСУ (155 °С)	1	0,38	—	—	—	—	3,4 / 20,6	—	3,7 / 30,4	—	4,3 / 45,3
	1	0,66	—	—	—	—	—	—	4,5 / 33,5	—	
ПСУ (180 °С)	1	0,38	—	—	3,6 / 17,5	—	3,9 / 23,5	—	4,4 / 35,2	—	5 / 50,2
	1	0,66	—	—	—	—	—	—	5 / 41,4	—	—
ПВКФ (180 °С), ПВКВ (180 °С)	1	0,66	2,9 / 13	3,6 / 20,0	3,7 / 22,7	3,9 / 25,6	4,1 / 29,2	4,3 / 35,3	4,5 / 42,3	4,7 / 46,3	5,1 / 57,4
ПВКФ (180 °С), ПВКВ (180 °С)	1	0,38	2,5 / 10,4	2,8 / 14,2	2,9 / 16,5	3,1 / 15,1	3,3 / 22,4	3,5 / 28	4,1 / 36,8	4,3 / 41,8	4,7 / 52,2
ПВФС (180 °С)	1	0,66	—	3,6 / 21,6	3,7 / 23,7	—	4,1 / 30,2	—	4,5 / 43,2	—	5,1 / 58,9
ПВФС (180 °С)	1	0,38	—	4,0 / 2,5	4,1 / 28,2	—	4,5 / 34,4	—	4,9 / 47,7	—	5,5 / 63,9
ПАЛ (180 °С)	1	0,66	—	4,4 / 27,8	4,5 / 30,6	—	5,2 / 38	—	5,8 / 55,5	—	6,4 / 72,2
											Провода
АВТ	2	0,38	—	—	—	—	—	—	8,2 / 53,1	—	10,1 / 73
	3		—	—	—	—	—	—	9,2 / 72	—	11,3 / 102
	4		—	—	—	—	—	—	10,3 / 90,9	—	12,7 / 131
АВТВ	2	0,38	—	—	—	—	—	—	7 / 44,2	—	8,4 / 58,5
	3		—	—	—	—	—	—	7,9 / 58,6	—	9,4 / 80
	4		—	—	—	—	—	—	8,7 / 73	—	10,5 / 102
НВ	1	0,5	1,8 / 6,5	2,1 / 9,3	2,2 / 11,5	—	—	—	—	—	—
		1,0	2 / 7,32	2,3 / 10,1	2,4 / 12,4	—	—	—	—	—	—
НВЭ	1	0,5	2,3 / 15	2,7 / 17,8	2,8 / 20	—	—	—	—	—	—
		1,0	2,5 / 15,8	2,9 / 18,9	3 / 21	—	—	—	—	—	—
ПВЭ	1	0,66	—	3,6 / 20	3,7 / 23	—	4,1 / 28,3	—	4,5 / 38,2	—	5,1 / 53,6

Продолжение табл. 2.7

при сечении жилы, мм²											ГОСТ, ТУ
5	6	8	10	16	25	50	50	70	95	120	
теплостойкие											
4,6 / 56	4,9 / 64	5,8 / 90	6,4 / 108	8 / 174	9,8 / 274	11 / 366	13 / 490	15 / 700	17 / 970	—	ТУ 16—705.366—85
5,2 / 60	5,4 / 69	6,3 / 92	6,8 / 115	8 / 177	9,8 / 280	11 / 370	13 / 575	15 / 700	17 / 975	—	
5,2 / 61	6,3 / 70	7 / 94	7,6 / 116	8,8 / 182	11 / 287	12,5 / 378	14,5 / 520	17 / 720	19 / 980	—	
—	5,2 / 72,0	—	6,5 / 113,0	—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 16036—79*Е
5,8 / 69,4	6,3 / 86,1	6,9 / 107	7,6 / 128	9,2 / 198	10,9 / 299	12,2 / 405	14,1 / 570	16,5 / 753	18,6 / 1078	20,5 / 1271	
—	4,7 / 63,3	—	5,6 / 102,5	6,9 / 159	8,5 / 250	10,6 / 367	12 / 501	13,7 / 685	15,7 / 934,4	—	ТУ 16—505.523—78
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	5,5 / 71,7	—	5,8 / 112	7,2 / 170	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5,4 / 67,9	6 / 82,3	6,5 / 107	7,5 / 130	8,9 / 198	10,9 / 302	12,3 / 404	15,3 / 569	16,9 / 752	19 / 1075	21,2 / 1310	ГОСТ 16036—79*Е
5,0 / 63,0	5,6 / 76,8	6,1 / 100	7,1 / 121	8,5 / 189	10,5 / 291	11,9 / 392	14,9 / 581	16,5 / 752	18,6 / 1055	—	ГОСТ 16036—79*Е
—	6 / 84,1	—	7,3 / 128	8,7 / 198	10,7 / 299	12,1 / 405	15,1 / 570	16,7 / 753	18,8 / 1078	20,8 / 1271	
—	6,4 / 90,1	—	7,7 / 134	9,2 / 207	11,2 / 302	12,5 / 417	15,5 / 585	17,1 / 769	19,2 / 1098	21,6 / 1314	
—	7,4 / 103	—	8,5 / 147	9,9 / 221	11,1 / 316	13,8 / 456	15 / 592,2	—	—	—	ТУ 16—505.656—74
разные											
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	14 / 163	—	17,3 / 247	21,4 / 379	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	11,9 / 131	—	15 / 206	19,2 / 306	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 17515—72*Е
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	5,6 / 79	—	7,3 / 122	8,7 / 185	10,7 / 280	12,1 / 394	15,1 / 565	16,7 / 741	18,8 / 998	21,0 / 1306	ТУ 16—705.283—83

2.3. КАБЕЛИ СИЛОВЫЕ

Таблица 2.8. **Основные технические даиные кабелей (сокращенный сортамент)**

Марка кабеля	Число жил	Сечение жил кабеля, мм², на напряжение, кВ								ГОСТ, ТУ
		0,66	1	3	6	10	20	35	110	
Кабели с пластмассовой изоляцией										
ВВГ, ПсВГ, ПвВГ, ПВГ	1, 2, 4	1,5—50	1,5—240	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 16442—80*
	3	1,5—50	1,5—240	—	10—240	—	—	—	—	
	5	—	1,5—25	—	—	—	—	—	—	
АВВГ, АПсВГ	1, 2, 4	2,5—50	2,5—240	—	—	—	—	—	—	
АВвВГ, АПВГ	3	2,5—50	2,5—240	—	10—240	—	—	—	—	
	5	—	2,5—35	—	—	—	—	—	—	
	6	2,5—50	—	—	—	—	—	—	—	
ВБбШв, ПсБбШв ПвБбШв, ПБбШв, АВБбШв, АПсБбШв, АПБбШв, АПвБбШв	2, 4	4—50	6—240	6—240	—	—	—	—	—	
	3	4—50	6—240	6—240	10—240	—	—	—	—	
ВАШв, ПвАШв, АВАШв, АПвАШв	3, 4	—	6—240	6—240	10—240	—	—	—	—	
АВВГз, ВВГз	2, 3, 4	1,5—50	1,5—50	—	—	—	—	—	—	
АПвВ, ПвВ, АПвПС, ПвПс	1	—	—	—	—	—	—	95—240	—	ТУ 16—705.385—85
АПвВ, АПвПс, АПвЦ, АПвПу	1	—	—	—	—	—	—	—	350, 500, 625	ТУ 16—705.212—82
ВВГнг	1	1,5—50	1,5—240	—	—	—	—	—	—	ТУ 16—705.426—86
	2	1,5—50	1,5—240	—	6—240	—	—	—	—	
	3	1,5—50	1,5—240	—	1,5—240	—	—	—	—	
	4	1,5—50	1,5—185	—	6—185	—	—	—	—	
	5	—	1,5—35	—	—	—	—	—	—	

АВВГнг	1	2,5—50	2,5—240	—	—	—	—	—	—	
	2	2,5—50	2,5—240	—	6—240	—	—	—	—	
	3	2,5—50	2,5—240	—	2,5—240	—	—	—	—	
	4	2,5—50	2,5—185	—	6—185	—	—	—	—	
	5	—	2,5—35	—	—	—	—	—	—	
Кабели с резиновой изоляцией										
ВРГ, ВРГз, ВРТГ, ВРТГз, НРГ	1, 2, 3	1—240	—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 433—73*Е
СРГ	1, 2	1—240	—	—	—	—	—	—	—	
	3	1—185	—	—	—	—	—	—	—	
АВРГ, АВРГз	1	4—300	—	—	—	—	—	—	—	
АВРТГ, АВРТГз, АНРГ	2, 3	2,5—300	—	—	—	—	—	—	—	
АСРГ	1	4—300	—	—	—	—	—	—	—	
	2	4—240	—	—	—	—	—	—	—	
	3	2,5—240	—	—	—	—	—	—	—	
ВРБ, ВРБз, ВРБГ, ВРБн, ВРБнз, ВРБГз, ВРТБ, ВРТБГ, ВРТБГз, ВРТБн, ВРТБнз, НРБ, НРБГ, СРБ, СРБГ	2, 3	2,5—185	—	—	—	—	—	—	—	
АВРБ, АВРБз, АВРБГ, АВРБГз, АВРБн, АВРБнз	2	4—240	—	—	—	—	—	—	—	
АВРТБ, АВРТБз, АВРТБГ, АВРТБГз, АВРТБн, АВРТБнз, АНРБ, АНРБГ, АСРБ, АСРБГ	3	2,5—240	—	—	—	—	—	—	—	

Продолжение табл. 2.8

Марка кабеля	Число жил	Сечение жил кабеля, мм², на напряжение, кВ								ГОСТ, ТУ
		0,66	1	3	6	10	20	35	110	
Кабели с бумажной изоляцией с вязкой пропиткой										
ААГУ, ААШвУ, ААШпУ	1	—	10—800	10—625	—	—	25—400	120—300	—	ГОСТ 18410—73*Е
	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
АСГУ, СГУ	1	—	10—800	10—625	—	—	25—400	120—300	—	
	2	—	6—150	—	—	—	—	—	—	
	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
СШвУ	3	—	16—240	—	10—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
АСШвУ	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
ААБлГУ, ААБлУ	1	—	10—800	10—625	—	—	—	—	—	
ААБ2лУ, ААБ2лШвУ, ААБ2лШпУ	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—	—	
ААБнлГ	3	—	6—240	—	10—240	16—240	—	—	—	ГОСТ 18410—73*Е; ТУ 16—505.840—84
ААБвУ, ААБвГУ	3	—	—	—	10—240	16—240	—	—	—	ГОСТ 18410—73*Е
ААБлГУ, ААБлУ, ААБ2лУ	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
АСБУ, СБУ, АСБлУ	1	—	10—800	10—625	—		—	—	—	
СБлУ, АСБ2лУ, СБ2лУ, АСБнУ, СБнУ, АСБлнУ	2	—	6—150	—	—	—	—	—		
СБлнУ, АСБГУ	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—	—	
СБГУ	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	

АСБ2лШвУ, СБ2лШвУ, АСБ2лГУ, СБ2лГУ	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—	—	
СБШвУ	3	—	16—240	—	10—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
ААПлУ, ААП2лУ, ААПлГУ, ААПлШвУ	1	—	50—800	35—625	—	—	—	—	—	
ААПлУ, ААП2лУ, ААПлГУ, ААП2лГУ, ААП2лШвУ	3	—	25—240	25—240	16—240	16—240	—	—	—	
ААПлУ, ААП2лУ, ААПлГУ	4*	—	16—185	—	—	—	—	—	—	
АСПУ, СПУ	1	—	50—800	35—625	—	—	—	—	—	
АСПлУ, СПлУ	2	—	25—150	—	—	—	—	—	—	
АСП2лУ, СП2лУ	3	—	25—240	25—240	16—240	16—240	—	—	—	
АСПГУ, СПГУ	4*	—	16—185	—	—	—	—	—	—	
АСПлнУ, СПлнУ	1	—	50—800	36—625	—	—	—	—	—	
	3	—	25—240	16—240	16—240	—	—	—	—	
	4*	—	16—185	—	—	—	—	—	—	
АСП2лГУ, СП2лГУ	3	—	25—240	25—240	16—240	16—240	—	—	—	ГОСТ 18410—73*Е
СПШвУ	3	—	25—240	—	16—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	16—185	—	—	—	—	—	—	
АСКлУ, СКлУ	1	—	—	—	—	—	—	120—300	—	
	3	—	25—240	25—240	16—240	16—240	—	—	—	
	4*	—	25—185	—	—	—	—	—	—	
ААБлУ, АСБУ, СБУ	1**	—	(240—800) + + (2×1)	—	—	—	—	—	—	
АОСБУ, ОСБУ, АОСБГУ, ОСБГУ, АОСБнУ, ОСБнУ	3	—	—	—	—	—	—	25—185	120—150	
АОСКУ, ОСКУ	3	—	—	—	—	—	—	25—185	120	

Продолжение табл. 2.8

Марка кабеля	Число жил	Сечение жил кабеля, мм², на напряжение, кВ								ГОСТ, ТУ
		0,66	1	3	6	10	20	35	110	
Кабели с бумажной обедненно-пропитанной изоляцией										
ААШвУ-В	1	—	10—500	10—500	—	—	—	—	—	ГОСТ 18410—73*Е
	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
	4*	—	10—120	—	—	—	—	—	—	
ААГУ-В, ААШпУ-В	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
ААБлУ-В, ААБ2лУ-В	1	—	10—500	10—500	—	—	—	—	—	
	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
	4	—	10—120	—	—	—	—	—	—	
ААБлГУ-В	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
	4	—	16—120	—	—	—	—	—	—	
АСБУ-В, СБУ-В АСБлУ, СБлУ-В АСБ2лУ-В, СБ2лУ-В АСБнУ-В, СБнУ-В, АСБлнУ-В	1	—	10—500	10—500	—	—	—	—	—	
	2	—	6—120	—	—	—	—	—	—	
	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
	4	—	10—120	—	—	—	—	—	—	
АСБГУ-В, СБГУ-В	1	—	10—625	—	—	—	—	—	—	
	2	—	6—120	—	—	—	—	—	—	
	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
	4	—	10—185	—	—	—	—	—	—	
АСБ2лГУ-В, СБ2лГУ-В	1	—	—	240—625	—	—	—	—	—	
ААП2лШвУ-В	1	—	10—500	10—500	—	—	—	—	—	
	3	—	6—240	6—120	16—120	—	—	—	—	
	4	—	10—120	—	—	—	—	—	—	

ААПлУ-В, ААПлГУ-В	1	—	50—500	35—500	—	—	—	—	—	
	3	—	25—125	25—150	16—120	—	—	—	—	
	4	—	16—120	—	—	—	—	—	—	
АСПУ-В, СПУ-В	1	—	50—500	35—500	—	—	—	—	—	
АСПлУ-В, СПлУ-В	2	—	25—120	—	—	—	—	—	—	
АСП2лУ-В	3	—	25—150	25—150	16—120	—	—	—	—	
СП2лУ-В	4	—	16—120	—	—	—	—	—	—	
АСПлнУ-В, СПлнУ-В	1	—	50—500	35—500	—	—	—	—	—	
	3	—	25—150	25—150	16—120	—	—	—	—	
	4	—	16— 120	—	—	—	—	—	—	
АСП2лГУ-В,	1	—	—	240—625	—	—	—	—	—	
СП2лГУ-В	3	—	185—240	—	—	—	—	—	—	
АСПГУ-В, СПГУ-В	1	—	50—500	35—500	—	—	—	—	—	
	2	—	25—120	—	—	—	—	—	—	
	3	—	185—240	—	—	—	—	—	—	
	4	—	16—120	—	—	—	—	—	—	
ААБлУ-В	1**	—	(240—800) + + (2×1)	—	—	—	—	—	—	

Кабели с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом

ЦААШвУ, ЦАСШвУ, ЦСШвУ	1	—	—	—	—	—	—	120—400	—	ГОСТ 18409—73*Е
ЦААШвУ, ЦААБлУ, ЦААБ2лУ, ЦААБлГУ, ЦААБлнУ, ЦААБвГУ, ЦААБШвУ, ЦААБШпУ, ЦААПлУ, ЦААП2лУ, ЦААПлГУ, ЦААПлнУ, ЦААПлШвУ, ЦАСШвУ, ЦСШвУ,	3	—	—	—	25—185	25—185	—	—	—	

Продолжение табл. 2.8

Марка кабеля	Число жил	Сечение жил кабеля, мм², на напряжение, кВ								ГОСТ, ТУ
		0,66	1	3	6	10	20	35	110	
ЦАСБУ, ЦСБУ, ЦАСБлУ, ЦСБлУ, ЦАСБГУ, ЦСБГУ, ЦАСБнУ, ЦСБнУ, ЦАСБШвУ, ЦСБШвУ, ЦАСПУ, ЦСПУ, ЦАСПлУ, ЦСПлУ, ЦАСПГУ, ЦСПГУ, ЦАСПнУ, ЦСПнУ, ЦАСПШвУ, ЦСПШвУ, ЦАСКлУ, ЦСКлУ	3	—	—	—	25—185	25—185	—	—	—	
ЦАОСБУ, ЦОСБУ, ЦАОСБГУ, ЦОСБГУ	3	—	—	—	—	—	—	120—150	—	ГОСТ 18409—73*Е, ТУ 16—505.840—84
ЦААБнлГ	3	—	—	—	25—185	25—185	—	—	—	
Кабели гибкие										
КГ, КГН	1	2,5—120	—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 13497—77*Е
	2, 3, 4***	0,75—120	—	—	—	—	—	—	—	
КПГ	2, 3, 4	0,75—70	—	—	—	—	—	—	—	
КПГН	4, 5***	1,5—10	—	—	—	—	—	—	—	
КПГС, КПГСН	4	2,5—120	—	—	—	—	—	—	—	
	5***	2,5—6	—	—	—	—	—	—	—	
Напряжение 1140 В										
КГЭШ, КГЭШТ	4	—	4—95	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 10694—78*Е
Напряжение 690 В										
НРШМ	1***	1—400	—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 7866.1—76*Е
	2***	1—70	—	—	—	—	—	—	—	
	3***	1—120	—	—	—	—	—	—	—	
	4—37***	1—2,5	—	—	—	—	—	—	—	

* Четырехжильные кабели с бумажной изоляцией могут изготовляться с жилами одинакового сечения до 120 мм².
** Для сетей электрифицированного транспорта.
*** Все жилы одинакового сечения.

Примечание. Кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией могут изготовляться с жилами одинакового сечения и с третьей или четвертой уменьшенной жилой.

2.4. КАБЕЛИ КОНТРОЛЬНЫЕ, УПРАВЛЕНИЯ И ТЕЛЕФОННЫЕ

Таблица 2.9. **Основные технические данные кабелей (сокращенный сортамент)**

Марка кабеля	Сечение жил, мм^2	Число жил	Шаг париой скрутки, мм	ГОСТ, ТУ
Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией				
КРВГ, КРНГ, КРВГЭ КРВБ, КРВБГ, КРНБ, КРНБГ КРВБн, КРВБбГ, КРНБбГ, КРНБн	0,75—1,5 2,5 4; 6	4—52 4—37 4—10	—	ГОСТ 1508—78*Е
КВВГ, КПсВГ, КПВГ КВВГЭ, КПсВГЭ	0,75—1,5 2,5	4—61 4—37		
КВВБ, КВВБГ, КВВБбГ, КВВБн, КПсВБ, КПсВБГ, КПсВБбГ, КПсВБн, КПВБ, КПВБГ, КПВБбГ, КВБбШв, КПсБбШв, КПБбШВ	4; 6	4—10		
КВПбШв, КПсПбШв КППбШв	0,75—1,5 2,5; 4; 6	10—37 7—37; 7; 10		
КРСГ, КРСБ, КРСБГ	1—2,5; 4; 6	4—37; 4—10		
КРСК	1; 1,5 2,5 4; 6	10—37 7—37 7; 10		
КВВГз	0,75—6	4; 5		
КВВГнг, КВВГЭнг	0,75—1,5 2,5 4; 6; 10	4—61 4—37 4, 7, 10		ТУ 16—705.426—86
АКРВГ, АКРНГ, АКРБ, АКРВБГ, АКРНБ, АКРНБГ, АКРВБбГ, АКРНБбГ, АКРБГЭ, АКРКГ, АКВВГ, АКПсВГ, АКПВГ, АКВВГЭ, АКПсВГЭ, АКВВБ, АКВВБГ, АКВВБбГ, АКВБбШв, АКПсВБ, АКПсВБГ, АКПсВБбГ, АКПсБбШв, АКЦВБ, АКПВБГ, АКПВБбГ, АКПБбШв	2,5 4—10	4—37 4—10		ГОСТ 1508—78*Е
КВВГ-П, КПсВГ-П, КПВГ-П АКВВГ-П, АКВсВГ-П, АКПВГ-П АКВВГз	0,75—6 2,5—6 4—10	4 4 4; 5		
АКВВГнг	2,5 4; 6; 10	4—37 4, 7, 10		ТУ 16—705.426—86
Кабели управления экранированные				
КУПВ, КУПВ-П, КУПВ-Пн	0,35; 0,5 (многопроволочная жила)	7, 14, 19, 27, 37, 52	—	ГОСТ 18404.3—73*
КУПР, КУПР-П, КУПР-Пн	0,35; 0,5 0,75; 1; 1,5 (многопроволочная жила)	7, 14, 19, 27, 37, 52 4, 7, 14, 19		ГОСТ 18404.2—73*
КУГВВЭ	0,35; 0,5 (многопроволочная жила)	7; 14; 24; 37; 61		ТУ 16—505.856—75
КУГВВЭнг				ТУ 16—705.426—86

Продолжение табл. 2.9

Марка кабеля	Сечение жил, мм^2	Число жил	Шаг парной скрутки, мм	ГОСТ, ТУ
Кабели управления экранированные с парной скруткой жил				
КУПЭВ, КУПЭВ-П, КУПЭВ-Пн	0,35; 0,5 (многопроволочная жила)	2, 4, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52	70	ТУ 16—705.096—79
КУПсЭВ, КУПсЭВ-П, КУПсЭВ-Пн			35	
КУПЭР, КУПЭР-П, КУПЭР-Пн			70	
КУПЭВ-С	0,35; 0,5 (однопроволочная жила)	2, 4, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52	100	ТУ 16—705.095—79
КУВЭВ (гибкий)	0,08—0,75 (многопроволочная жила)	2, 4, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52	15	ТУ 16.К76.009—88
Кабели телефонные экранированные с парной скруткой жил				
ТСВ	0,4; 0,5 (многопроволочная жила)	5, 10, 20, 30, 41, 103	80	ГОСТ 14354—79
ТПВ	0,32; 0,4; 0,5; 0,7 (многопроволочная жила)	10, 20, 30, 50, 100	100	ГОСТ 22498—88 Е
ТПВнг				ТУ 16—705.426—86

ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ МАРОК КАБЕЛЕЙ

Марки кабелей формируются слева направо из букв русского алфавита, обозначающих, как правило, функциональное назначение и элементы (материал) конструкции кабелей, начиная с токопроводящей жилы и кончая защитным покровом:

К — контрольный кабель

КУ — кабель управления

Ц — бумажная изоляция, пропитанная нестекающим составом

А — алюминиевая жила (отсутствие слева буквы А означает, что жила медная)

В, П, Пс, Пв, Р — поливинилхлоридная, полиэтиленовая, полиэтиленовая самозатухающая, полиэтиленовая вулканизированная, резиновая изоляция (отсутствие этих букв означает, что изоляция бумажная пропитанная)

В, Н, А, С — поливинилхлоридная, резиновая (маслостойкая, не распространяющая горение), алюминиевая, свинцовая оболочка

Б, БГ, П, ПГ, К — броня из стальных лент, из стальных плоских проволок, из стальных круглых проволок (ГОСТ 7006—72 *)

л, 2л, в, нл или б — подушка или ее отсутствие (ГОСТ 7006—72 *)

Шв, Шп, Шпс — шланг наружный поливинилхлоридный, полиэтиленовый из самозатухающего полиэтилена (ГОСТ 7006—72 *)

ож — однопроволочные жилы

з — с заполнением промежутков между жилами для придания кабелю круглой формы

у — усовершенствованная бумажная изоляция

В — бумажная обедненно-пропитанная изоляция

нг — не распространяющий горение кабель

Примеры. 1. АВВГ — кабель с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией с полнвинилхлорндной оболочкой без защитного покрова.

2. АРВГ — кабель с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке без защитного покрова.

3. АВБбШв — кабель с алюминиевыми жилами с полнвинилхлоридной изоляцией бронированный стальными лентами без подушки с наружным поливинилхлоридным шлангом.

4. АВАШв — кабель с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевой оболочкой с наружным поливинилхлоридным шлангом.

5. СБ2лГУ-В — кабель с медными жилами с усовершенствованной бумажной обедненно-пропитанной изоляцией бронированный стальными лентами с подушкой без наружного покрова со свинцовой оболочкой.

6. ЦААБнУ — кабель с алюминиевыми жилами с усовершенствованной бумажной пропитанной нестекающим составом изоляцией с алюминиевой оболочкой бронированный с негорючим покровом.

7. КВВГ – контрольный кабель с медными жилами, с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой.

8. КУПсЭВ — кабель управления с медными жилами с изоляцией из самозатухающего полиэтилена с общим экраном в поливинилхлоридной оболочке.

Б. ВЫБОР ПРОВОДНИКОВ ПО НАГРЕВУ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

2.5. УСЛОВИЯ, ПРИНЯТЫЕ ПРИ РАСЧЕТЕ ДОПУСТИМЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК В ТАБЛИЦАХ ПУЭ

Допустимые длительные токовые нагрузки определяются исходя из следующих условий:

допустимые длительные температуры проводников и расчетные температуры окружающей среды принимаются по табл. 2.10 и 2.11; для других температур среды допустимые длительные токовые нагрузки определяются по тем же таблицам путем умножения на коэффициенты, приведенные в табл 2.12;

в траншее на глубине 0,7—1 м в земле с удельным сопротивлением грунта 120 см·°С/Вт проложен один кабель; при большем числе кабелей эти нагрузки следует умножать на коэффициенты, приведенные в табл. 2.13; при удельном сопротивлении земли, отличающемся от 120 см·°С/Вт, эти нагрузки следует умножать на коэффициенты, приведенные в табл. 2.14;

Таблица 2.10. **Допустимые температуры проводников**

Вид и материал проводника	Допустимая длительная температура жил по нормам $\vartheta_{ж\,н}$, °С	Максимально допустимая температура жил по нормам при токах КЗ $\vartheta_{ж\,max\,н}$, °С
Шины:		
медные	70	300
алюминиевые	70	200
стальные, непосредственно не соединенные с аппаратами	70	400
стальные, непосредственно соединенные с аппаратами	70	300
Неизолированные провода медные при тяжениях, Н/мм²:		
менее 20	70	250
20 и более	70	200
алюминиевые при тяжениях, Н/мм²:		
менее 10	70	200
10 и более	70	160
алюминиевая часть сталеалюминиевых проводов	70	200
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией:		
до 3 кВ	80	200
6 кВ	65	200
10 кВ	60	200
20 и 35 кВ	50	125
110 и 220 кВ	—	125
Кабели и провода с резиновой или пластмассовой изоляцией:		
поливинилхлоридной и резиновой	65	150
полиэтиленовой	–	120

Продолжение табл 2 10

Таблица 2.11. **Расчетные температуры среды**

Место прокладки проводника	Температура среды по нормам $\vartheta_{ср.н}$, °С
Открытая и защищенная прокладка проводов, кабелей и шин в воздухе	25
Один кабель с бумажной пропитанной изоляцией при прокладке непосредственно в земле с удельным сопротивлением земли 120 см·°С/Вт	15
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией независимо от их числа при прокладке непосредственно в воде	15

в воде может быть проложено любое число кабелей независимо от расстояний между ними;

расположение шин прямоугольного сечения — вертикальное; при горизонтальном расположении указанные в таблицах нагрузки должны быть уменьшены для шин с шириной полос до 60 мм на 5 %, более 60 мм — на 8 %.

Рабочие нулевые проводники систем трехфазного и постоянного тока должны иметь пропускную способность не менее наибольшей возможной длительной нагрузки.

Для одиночных кабелей, прокладываемых в трубах в земле без искусственной вентиляции, нагрузки должны приниматься как для одиночных кабелей, прокладываемых в воздухе при температуре, равной температуре земли. При прокладке в одной траншее нескольких труб должны быть учтены коэффициенты, приведенные в табл. 2.13.

Таблица 2.13. **Поправочные коэффициенты на число работающих кабелей, проложенных рядом в земле (в трубах и без труб)**

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
200	1	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1	0,93	0,9	0,87	0,86	0,85

Примечание. Расстояние в свету менее 100 мм не рекомендуется.

Сечение кабеля должно выбираться по данным участка с наихудшими условиями охлаждения, если длина его более 10 м. Для длинных линий на таких участках рекомендуется применять кабельные вставки необходимого большего сечения без повышения сечения кабеля по всей линии.

При выборе снижающих коэффициентов к допустимым длительным токовым нагрузкам (по числу прокладываемых рядов проводников) контрольные и резервные провода и кабели, нулевые рабочие проводники в четырехпроводной системе трехфазного тока, а также заземляющие и нулевые защитные проводники учитываться не должны.

Таблица 2.12. **Поправочные коэффициенты $k_{ср}$ на температуру земли, воды и воздуха для токовых нагрузок на кабели, изолированные и неизолированные провода и шины**

Расчетная температура, °С		Поправочные коэффициенты при фактической температуре среды, °С											
среды	жилы	—5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,2	1,17	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74
25	70	1,29	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,1	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,2	1,15	1,12	1,06	1	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,2	1,13	1,07	1	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,5	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,2	1,14	1,07	1	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1	0,89	0,78	0,63	0,45	—

Примечание. Расчетные температуры см. в табл. 2.10 и 2.11.

Таблица 2.14. **Поправочные коэффициенты на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли**

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см·°С/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 14 %	80	1,13
Нормальная почва и песок влажностью 7—9 %, песчано-глинистая почва влажностью 12—14 %	120	1
Песок влажностью более 4 и менее 7 %, песчано-глинистая почва влажностью 8—12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

Допустимые длительные токи в зависимости от способов прокладки должны приниматься для проводов:

прокладываемых в лотках при однорядной прокладке (не в пучках) — по табл. 2.15, как для проводов, проложенных открыто;

прокладываемых в коробах, а также в лотках пучками — по табл. 2.15, как для проводов, проложенных в трубах;

прокладываемых в трубах, коробах, а также в лотках пучками, когда более четырех проводов могут быть одновременно и длительно нагружены,— по табл. 2.15, как для проводов, проложенных открыто, с введением коэффициентов: 0,68 для 5 и 6 проводов, 0,63 для 7—9 проводов и 0,6 для 10—12 проводов, одновременно нагруженных;

прокладываемых в коробах (с учетом числа кабелей, их назначения и загрузки) — по табл. 2.15, как для проводов, проложенных открыто, с применением понижающих коэффициентов по табл. 2.16.

Допустимые длительные токи в зависимости от способов прокладки должны приниматься для кабелей:

Таблица 2.15. **Провода с алюминиевыми жилами с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырех одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	38
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—

прокладываемых в коробах, а также в лотках пучками — по табл. 2.17, как для кабелей, проложенных в воздухе;

прокладываемых в коробах (с учетом числа кабелей, их назначения и загрузки) — по табл. 2.17, как для кабелей, проложенных в воздухе, с применением снижающих коэффициентов по табл. 2.16.

Допустимые длительные токовые нагрузки для проводов и кабелей с медными жилами следует принимать равными 130 % нагрузок проводников с алюминиевыми жилами (одинакового сечения и аналогичных по изоляции и конструкции).

Таблица 2.16. **Коэффициент снижения $K_{сн}$ для определения допустимых длительных токовых нагрузок проводов и кабелей, прокладываемых в коробах**

Назначение проводки	Способ прокладки	Число проводов и кабелей		$K_{сн}$
		одножильных	многожильных	
Питание отдельных электроприемников с $k_и \leqslant 0{,}7$	Многослойно и пучками	—	До 4	1
		2	5—6	0,85
		3—9	7—9	0,75
		10—11	10—11	0,70
		12—14	12—14	0,65
		15—18	15—18	0,60
Питание отдельных приемников с $k_и > 0{,}7$ или групп электроприемников	Однослойно	2—4	2—4	0,67
		5	5	0,60

Примечание. $k_и$ — коэффициент использования установленной мощности электроприемника.

Таблица 2.17. **Кабели с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированные и небронированные**

Сечение жилы, мм^2	Нагрузка, А, для кабелей				
	одножильных в воздухе	двухжильных		трехжильных	
		в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	28
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	—	—	—	—

2.6. РАСЧЕТ ДОПУСТИМЫХ ПО НАГРЕВУ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК НА ПРОВОДНИКИ

Принятые условные обозначения:

$\vartheta_ж$ — температура жилы изолированного проводника или температура голого проводника, °С

$\vartheta_{ж\,max}$ — максимально допустимая температура жилы изолированного проводника или температура неизолированного проводника при токе КЗ, °С

$\vartheta_{ср}$ — температура среды (воздуха, воды, земли), в которой проложены проводники, °С; для проводников, прокладываемых в трубах или коробах,— температура среды вне труб и коробов

τ — превышение температуры проводника над температурой среды, °С

τ_0 — превышение температуры проводника в момент изменения ранее имевшейся нагрузки, °С

τ_t — превышение температуры проводника в произвольный момент времени t после изменения нагрузки, °С

$\tau_у$ — установившееся превышение температуры, которого достигает проводник при продолжительной нагрузке, °С

T — постоянная времени нагрева проводника, мин или с

t — время, прошедшее от момента возникновения или изменения нагрузки, мин или с

e — основание натуральных логарифмов, равное 2,718

k — коэффициент, учитывающий все виды теплообмена: теплопроводность, излучение и конвекцию, Вт/(см^2·°С)

F — охлаждающая поверхность проводника, см^2

R — соответственно сопротивление постоянному току или активное сопротивление, Ом

A — количество тепла, выделяющегося в проводнике в 1 с, Дж/с

Таблица 2.18. **Коэффициент теплопередачи k, Вт/(см^2·°С·10^{-3})**

Вид проводника	В воздухе	В масле
Горизонтальные стержни (из меди) диаметром 1—6 см; поверхность окислена	0,85—1,3	—
Плоские шины (из меди) размером 100×6 и 76×3 мм, поставленные на ребро, поверхность окислена	0,6—0,9	—
Поверхность обмотки с бумажной изоляцией	1,0—1,25	2,5—3,6

C — количество тепла, необходимого для изменения температуры проводника на 1 °С (теплоемкость), Дж/°С

Q — количество тепла, отдаваемого проводником окружающей среде в 1 с при разности температур между проводником и окружающей средой 1 °С (теплоотдача), Дж/(с·°С)

$Q_л$, $Q_к$ — тепло, отдаваемое поверхностью проводника лучеиспусканием и конвекцией, Вт/см^2

ε — постоянная лучеиспускания

p — давление воздуха, Па

v — скорость движения воздуха, м/с; для открытого воздуха принимается равной 0,6 м/с

I — ток нагрузки, А

$I_{доп}$ — допустимая или допустимая длительная нагрузка, А

Примечание. Величины, допустимые или принятые для расчетов в ПУЭ или нормах, обозначены дополнительным индексом н, например $\vartheta_{ж.н}$, $\vartheta_{ср.н}$, $\tau_н$.

Установившееся превышение температуры и постоянную времени нагрева проводника в общем виде можно представить формулами

$$\tau_у = \frac{A}{Q}; \qquad (2.1)$$

$$T = \frac{C}{Q}. \qquad (2.2)$$

Формулы для конкретных расчетов приводятся ниже.

Допустимое длительное превышение температуры проводника

$$\tau_н = \vartheta_{ж.н} - \vartheta_{ср.н}. \qquad (2.3)$$

Таблица 2.19. **Постоянная лучеиспускания ε**

Род поверхности	ε
Алюминий полированный	0,08
Медь полированная	0,15
Медь окисленная	0,5—0,6
Сталь полированная	0,26
Сталь матовая, окисленная	0,88
Асбестовая бумага, зеленая и серая краска, сажа	0,95
Черная глянцевитая краска	0,9
Абсолютно черное тело	1,0

Длительный ток нагрузки неизолированного проводника и установившееся превышение температуры связаны зависимостью

$$I = \sqrt{\frac{kF\tau_у}{R}}. \qquad (2.4)$$

Значения k даны в табл. 2.18.

Отдача тепла лучеиспусканием определяется выражением

$$Q_л = 5{,}7\varepsilon\left[\left(\frac{273+\vartheta_ж}{1000}\right)^4 - \left(\frac{273+\vartheta_{ср}}{1000}\right)^4\right]. \qquad (2.5)$$

Значения ε даны в табл. 2.19.

Для изолированных проводников допустимая нагрузка может быть определена расчетом по тем же формулам, но с дополнительным учетом тепловых сопротивлений слоев изоляции и передачи тепла от одной поверхности к другой.

Отдача тепла свободной конвекцией для горизонтальных круглых проводников диаметром $d = 1 \div 8$ см при $\vartheta = 20 \div 100$ °С определяется выражением

$$Q_к = 3{,}5\cdot 10^{-4}\left(\frac{1}{d}\right)^{0,25}(\vartheta_ж - \vartheta_{ср})^{1,25}; \qquad (2.6)$$

для установленных на ребро полос

$$Q_к = 1{,}5\cdot 10^{-4}(\vartheta_ж - \vartheta_{ср})^{1,35}. \qquad (2.7)$$

Отдача тепла при вынужденной конвекции (искусственная вентиляция или на открытом воздухе)

$$Q_к = 0{,}91\sqrt{\frac{pv}{d}}\,10^{-5}(\vartheta_ж - \vartheta_{ср}). \qquad (2.8)$$

Длительный ток нагрузки неизолированного проводника и его установившаяся температура с учетом (2.5) — (2.8) связаны зависи-

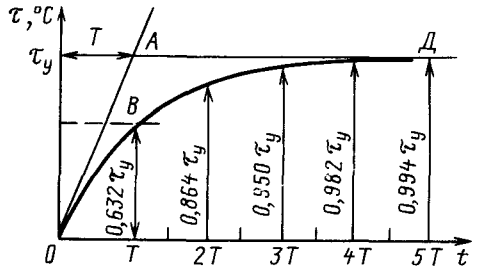
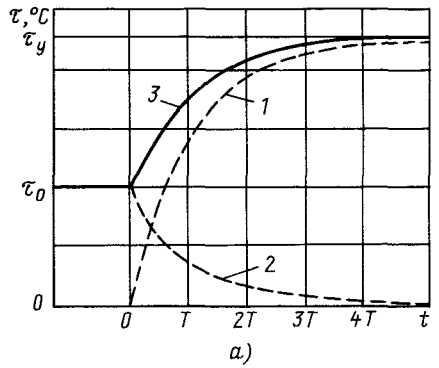


Рис. 2.1. Изменение превышений температуры проводника от нуля до установившегося значения при неизменной нагрузке



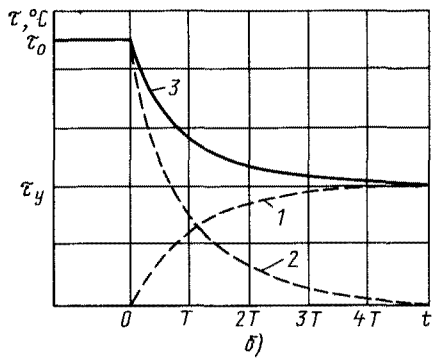


Рис. 2.2. Изменение превышения температуры проводника от величины τ_0, соответствующей ранее имевшейся нагрузке I_0, до величины $\tau_у$, соответствующей новой нагрузке I:
а — увеличение превышения нагрева при $I > I_0$; *б* — снижение превышения нагрева при $I < I_0$; *1* — кривая по рис. 2.1, т. е. при $\tau_0 = 0$; *2* — кривая по рис. 2.3, т. е. при $\tau_у \to 0$; *3* — суммарная кривая по (2.10) (ее ординаты равны сумме ординат кривых *1* и *2*)

мостью

$$I = \sqrt{\frac{(Q_л + Q_к)\,F}{R}}. \qquad (2.9)$$

Превышение температуры проводника в переходном режиме в произвольный момент времени после возникновения, увеличения, уменьшения или отключения нагрузки представлено кривыми рис. 2.1, 2.2, 2.3 и может быть определено выражением

$$\tau_t = \tau_у \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}. \qquad (2.10)$$

Это выражение упрощается в частных случаях:

а) если отсутствует первоначальное превышение температуры ($\tau_0 = 0$), (2.10) принимает вид (рис. 2.1)

$$\tau_t = \tau_у \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right); \qquad (2.11)$$

б) если нагрузка отключается и прекращается выделение тепла ($\tau_у = 0$), (2.10) принимает вид

$$\tau_t = \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}, \qquad (2.12)$$

где τ_0 — превышение температуры проводника при $t = 0$ (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Изменение превышения температуры проводника после отключения нагрузки

На основании (2.4) при известных $I_н$ и $\tau_{у.н}$ превышение температуры $\tau_у$ при другом токе I для данного проводника определяется выражением

$$\tau_у = \tau_н (I/I_н)^2. \qquad (2.13)$$

При продолжительности нагрева более трех-четырех T превышение температуры проводника можно принимать равным его установившемуся значению $\tau_у$ (см. рис. 2.1).

Значения $e^{-\frac{t}{T}}$ и $1 - e^{-\frac{t}{T}}$ приведены в табл. 2.20, а значение T — в табл. 2.21.

Таблица 2.20. **Значения $e^{-\frac{t}{T}}$ и $1-e^{-\frac{t}{T}}$ при разных значениях t/T**

t/T	$e^{-\frac{t}{T}}$	$1-e^{-\frac{t}{T}}$	t/T	$e^{-\frac{t}{T}}$	$1-e^{-\frac{t}{T}}$
0,10	0,905	0,095	1,00	0,368	0,632
0,15	0,861	0,139	1,05	0,350	0,650
0,20	0,820	0,180	1,10	0,333	0,667
0,25	0,779	0,221	1,15	0,317	0,683
0,30	0,742	0,258	1,20	0,300	0,700
0,35	0,705	0,295	1,25	0,286	0,714
0,40	0,671	0,329	1,30	0,273	0,727
0,45	0,638	0,362	1,35	0,259	0,741
0,50	0,607	0,393	1,40	0,248	0,752
0,55	0,577	0,423	1,45	0,235	0,765
0,60	0,550	0,450	1,5	0,224	0,776
0,65	0,522	0,478	1,7	0,183	0,817
0,70	0,497	0,503	2,0	0,136	0,864
0,75	0,472	0,528	2,2	0,111	0,889
0,80	0,450	0,550	2,5	0,082	0,918
0,85	0,427	0,573	3,0	0,050	0,950
0,90	0,407	0,593	4,0	0,018	0,982
0,95	0,387	0,613	5,0	0,006	0,994

Примечание. Для промежуточных значений t/T соответствующие величины могут быть найдены интерполяцией.

Когда температура среды отличается от принятой ($\vartheta_{ср} \neq \vartheta_{ср.н}$), для вычисления нагрузок по нормам допустимый ток может быть определен по выражению

$$I_{доп} = I_н \sqrt{\frac{\vartheta_{ж.н} - \vartheta_{ср}}{\vartheta_{ж.н} - \vartheta_{ср.н}}} = I_н k_{ср}, \quad (2.14)$$

где $I_н$ принимается в соответствии с рекомендациями § 2.7—2.10, а $k_{ср}$ — по табл. 2.12.

Допустимые нагрузки при повторно-кратковременном режиме работы (ПКР) с общей продолжительностью цикла до 10 мин и продолжительностью рабочего периода не более 4 мин при разной продолжительности включения (ПВ) в долях единицы могут быть определены выражением

$$I_{доп1} \sqrt{ПВ_1} = I_{доп2} \sqrt{ПВ_2} = I_{доп.н}, \quad (2.15)$$

где $I_{доп1}$, $I_{доп2}$ — нагрузки, допустимые при ПКР с $ПВ_1$, $ПВ_2$; $I_{доп.н}$ — длительно допустимая нагрузка.

Таблица 2.21. **Постоянная времени нагрева проводов и кабелей до 1 кВ с медными жилами T, мин**

Сечение жилы, мм²	Провода одножильные с резиновой изоляцией при прокладке				Трехжильные бронированные кабели с бумажной изоляцией при прокладке	
	открыто на опорах	в одной трубе				
		двух проводов	трех проводов	четырех проводов	в земле	в воздухе
4	2,4	2,5	3	4	6	18
6	3	4	4,75	6,25	7,2	19,1
10	4,2	6,75	7,5	9,5	8,4	10,6
16	5,6	9,3	11	13,7	10,8	21,6
25	7,2	13	15,7	19,5	12	26,4
35	9	15,7	19,5	24	14	28,8
50	12	19	23,5	28,3	18	32,4
70	15	22	27,5	33	21,6	37,2
95	18,4	26,3	32	37,5	26,4	43
120	21,4	29,5	35,8	42	30	48
150	24,4	33,5	41	47	40	53
185	—	—	—	—	40	60
240	—	—	—	—	45	90

Примечание. Для проводов и кабелей с алюминиевыми и медными жилами, одинаковых по сечению, конструкции изоляции, защитным покровам и способу прокладки, постоянная времени нагрева может быть принята по табл. 2.31 с умножением табличных значений на следующие коэффициенты: 0,85 — для изолированных проводов, 0,9 — для кабелей.

Для запаса и учета возможного влияния различных значений T проводников ПУЭ рекомендуют принимать для медных проводников сечением более 6 мм² и алюминиевых сеченнем более 10 мм²

$$I_{доп1,2} = \frac{0{,}875}{\sqrt{ПВ_{1,2}}} I_{доп.н}, \quad (2.16)$$

а для медных проводников сечением до 6 мм² включительно и алюминневых до 10 мм² включительно ввиду их относительно малой тепловой инерции (T — мала)

$$I_{доп1,2} = I_{доп.н}. \quad (2.17)$$

2.7. ДОПУСТИМЫЕ ДЛИТЕЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ПРОВОДА И КАБЕЛИ С РЕЗИНОВОЙ, ПЛАСТМАССОВОЙ И БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Таблица 2.22. **Кабели шланговые с медными жилами и резиновой изоляцией**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей с заземляющей жилой и без нее при напряжении, кВ			Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей с заземляющей жилой и без нее при напряжении, кВ	
	0,5	3	6		3	6
Кабели для торфопредприятий				**Кабели для передвижных электроприемников**		
6	44	45	47	16	85	90
10	60	60	65	25	115	120
16	80	80	85	35	140	145
25	100	105	105	50	175	180
35	125	125	130	70	215	220
50	155	155	160	95	260	265
70	190	195	-	120	305	310
				150	345	350

Примечание. Для проводов и кабелей с алюминиевыми жилами допустимые длительные токовые нагрузки приведены в табл. 2.15 и 2.17.

Таблица 2.23. **Шнуры переносные шланговые легкие и средние, кабели переносные тяжелые, кабели шахтные гибкие шланговые, кабели прожекторные, провода переносные с медными жилами**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для шнуров, проводов и кабелей с заземляющей жилой и без нее			Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для шнуров, проводов и кабелей с заземляющей жилой и без нее		
	одно-жильных	двух-жильных	трех-жильных		одно-жильных	двух-жильных	трех-жильных
0,5	—	12	—	10	90	75	60
0,75	—	16	14	16	120	95	80
1	—	18	16	25	160	125	105
1,5	—	23	20	35	190	150	130
2,5	40	33	28	50	235	185	160
4	50	43	36	70	290	235	200
6	65	55	45	—	—	—	—

Таблица 2.24. **Кабели с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей при напряжении, кВ					
	одножильных	двухжильных	трехжильных			четырехжильных
	до 1		до 3	6	10	до 1
Прокладываемые в воздухе						
6	—	42	35	—	—	—
10	75	55	46	42	—	45
16	90	75	60	50	46	60
25	125	100	80	70	65	75
35	155	115	95	85	80	95
50	190	140	120	110	105	110
70	235	175	155	135	130	140
95	275	210	190	165	155	165
120	320	245	220	190	185	200

Продолжение табл. 2.24

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей при напряжении, кВ					
	одиожильных	двужильных	трехжильных			четырехжильных
	до 1		до 3	6	10	до 1
150	360	290	255	225	210	230
185	405	—	290	250	235	260
240	470	—	330	290	270	—
300	555	—	—	—	—	—
400	675	—	—	—	—	—
500	785	—	—	—	—	—
625	910	—	—	—	—	—
800	1080	—	—	—	—	—
Прокладываемые в земле						
6	—	60	55	—	—	—
10	110	80	75	60	—	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270
150	520	385	335	300	275	305
185	580	—	380	340	310	345
240	675	—	440	390	355	—
300	770	—	—	—	—	—
400	940	—	—	—	—	—
500	1080	—	—	—	—	—
625	1170	—	—	—	—	
800	1310	—	—	—	—	—

Таблица 2.25. **Кабели с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемые в воде**

Продолжение табл. 2.25

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей при напряжении, кВ				Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей при напряжении, кВ			
	трехжильных			четырехжильных		трехжильных			четырехжильных
	до 3	6	10	до 1		до 3	6	10	до 1
16	—	105	90	—	95	340	290	260	315
25	160	130	115	150	120	390	330	305	360
35	190	160	140	175	150	435	385	345	—
50	235	195	170	220	185	475	420	390	—
70	290	240	210	270	240	550	480	450	—

Таблица 2.26. **Кабели 6 кВ трехжильные с алюминиевыми жилами с обедненно-пропитанной изоляцией в общей свинцовой оболочке**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, на кабели, проложенные		Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, на кабели, проложеиные	
	в земле	в воздухе		в земле	в воздухе
16	70	50	70	170	130
25	90	70	95	205	160
35	110	85	120	240	190
50	140	110	150	275	225

Таблица 2.27. **Кабели с отдельно освинцованными алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для трехжильных кабелей напряжением, кВ					
	20			35		
	в земле	в воде	в воздухе	в земле	в воде	в воздухе
25	85	90	65	—	—	—
35	105	110	75	—	—	—
50	125	140	90	—	—	—
70	155	175	115	—	—	—
95	185	210	140	—	—	—
120	210	245	160	210	225	160
150	240	270	175	240	—	175
185	275	300	205	—	—	—

Таблица 2.28. **Кабели одножильные с алюминиевой жилой с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, небронированные, прокладываемые в воздухе**

Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей напряжением, кВ			Сечение жилы, мм²	Нагрузка, А, для кабелей напряжением, кВ		
	до 3	20	35		до 3	20	35
10	65/—	—	—	150	275/—	210/255	205/230
16	90/—	—	—	185	295/—	225/275	220/255
25	110/—	80/85	—	240	335/—	245/305	245/290
35	130/—	95/105	—	300	355/—	270/330	260/330
50	165/—	120/130	—	400	375/—	285/350	—
70	200/—	140/160	—	500	390/—	—	—
95	235/—	170/195	—	625	405/—	—	—
120	255/—	190/225	185/205	800	425/—	—	—

Примечание. В числителе указаны токи для кабелей, расположенных в одной плоскости с расстоянием в свету 35—125 мм, в знаменателе — для кабелей, расположенных вплотную треугольником.

2.8. ДОПУСТИМЫЕ ДЛИТЕЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ НАГРУЗКИ НА НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ ШИНЫ

Таблица 2.29. **Шина круглого и трубчатого сечений**

Шины круглые			Трубы медные		Трубы алюминиевые		Трубы стальные				
Диаметр, мм	Нагрузка, А		Внутренний и наружный диаметры, мм	Нагрузка, А	Внутренний и наружный диаметры, мм	Нагрузка, А	Условный проход	Толщина стенки, мм	Наружный диаметр, мм	Переменный ток, А	
	Медные	Алюминиевые								без разреза	с продольным
6	155/155	120/120	12/15	340	13/16	295	8	2,8	13,5	75	—
7	195/195	150/150	14/18	460	17/20	345	10	2,8	17	90	—
8	235/235	180/180	16/20	505	18/22	425	15	3,2	21,3	118	—
10	320/320	245/245	18/22	555	27/30	500	20	3,2	26,8	145	—
12	415/415	320/320	20/24	600	26/30	575	25	4	33,5	180	—

Продолжение табл. 2.29

Шины круглые			Трубы медные		Трубы алюминиевые		Трубы стальные				
Диаметр, мм	Нагрузка, А		Внутренний и наружный диаметры, мм	Нагрузка, А	Внутренний и наружный диаметры, мм	Нагрузка, А	Условный проход	Толщина стенки, мм	Наружный диаметр, мм	Переменный ток, А	
	Медные	Алюминиевые								без разреза	с продольным разрезом
14	505/505	390/390	22/26	650	25/30	640	32	4	42,3	220	—
15	565/565	435/435	25/30	830	36/40	765	40	4	48	255	—
16	610/615	475/475	29/34	925	35/40	850	50	4,5	60	320	—
18	720/725	560/560	35/40	1100	40/45	935	65	4,5	75,5	390	—
19	780/785	605/610	40/45	1200	45/50	1040	80	4,5	88,5	455	—
20	835/840	650/655	45/50	1330	50/55	1150	100	5,0	114	670	770
21	900/905	695/700	49/55	1580	54/60	1340	125	5,5	140	800	890
22	955/965	740/745	53/60	1860	64/70	1545	150	5,5	165	900	1000
25	1140/1165	885/900	62/70	2295	74/80	1770	—	—	—	—	—
27	1270/1290	980/1000	72/80	2610	72/80	2035	—	—	—	—	—
28	1325/1360	1025/1050	75/85	3070	75/85	2400	—	—	—	—	—
30	1450/1490	1120/1155	90/95	2460	90/95	1925	—	—	—	—	—
35	1770/1865	1370/1450	93/100	3060	90/100	2840	—	—	—	—	—
38	1960/2100	1510/1620	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	2080/2260	1610/1750	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	2200/2430	1700/1870	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	2380/2670	1850/2060	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Для круглых шин в числителе указаны нагрузки при переменном токе, в знаменателе — при постоянном токе.

Таблица 2.30. **Шины прямоугольного сечения**

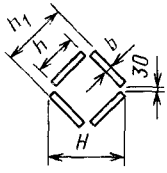
Размеры, мм	Медные			
	Нагрузка, А, при числе полос на полюс или фазу			
	1	2	3	4
15×3	210	—	—	—
20×3	275	—	—	—
25×3	340	—	—	—
30×4	475	—	—	—
40×4	625	—/1090	—	—
40×5	700/705	—/1250	—	—
50×5	860/870	—/1525	—/1895	—
50×6	955/960	—/1700	—/2145	—
60×6	1125/1145	1740/1920	2240/2495	—
80×6	1480/1510	2110/2630	2720/3220	—
100×6	1810/1875	2470/3245	3170/3940	—
60×8	1320/1345	2160/2485	2790/3020	—
80×8	1690/1755	2620/3095	3370/3850	—
100×8	2080/2180	3060/3810	3930/4690	—
120×8	2400/2600	3400/4400	4340/5600	—
60×10	1475/1525	2560/2725	3300/3530	—
80×10	1900/1990	3100/3510	3990/4450	—
100×10	2310/2470	3610/4325	4650/5385	5300/6060
120×10	2650/2950	4100/5000	5200/6250	5900/6800

Размеры, мм	Алюминиевые				Стальные	
	Нагрузка, А, при числе полос на полюс или фазу				Размеры, мм	Нагрузка, мм
	1	2	3	4		
15×3	165	—	—	—	16×2,5	55/70
20×3	215	—	—	—	20×2,5	60/90
25×3	265	—	—	—	25×2,5	75/110
30×4	365/370	—	—	—	20×3	65/100
40×4	480	—/855	—	—	25×3	80/120
40×5	540×545	—/965	—	—	30×3	95/140
50×5	665/670	—/1180	—/1470	—	40×3	125/190
50×6	740/745	—/1315	—/1655	—	50×3	155/230
60×6	870/880	1350/1555	1720/1940	—	60×3	185/280
80×6	1150/1170	1630/2055	2100/2460	—	70×3	215/320
100×6	1425/1455	1935/2515	2500/3040	—	75×3	230/345
60×8	1025/1040	1680/1840	2180/2330	—	80×3	245/365
80×8	1320/1355	2040/2400	2620/2975	—	90×3	275/410
100×8	1625/1690	2390/2945	3050/3620	—	100×3	305/460
120×8	1900/2040	2650/3350	3380/4250	—	20×4	70/115
60×10	1155/1180	2010/2720	2650/2720	—	22×4	75/125
80×10	1480/1540	2410/2735	3100/3440	—	25×4	85/140
100×10	1820/1910	2860/3350	3650/4160	4150/4400	30×4	100/165
120×10	2070/2300	3200/3900	4100/4860	4650/5200	40×4	130/220
					50×4	165/270
					60×4	195/325
					70×4	225/375
					80×4	260/430
					90×4	290/480
					100×5	325/535

Примечания: 1. В числителе указаны нагрузки при переменном токе, в знаменателе — при постоянном.

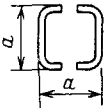
2. При горизонтальном расположении шин нагрузки должны быть уменьшены на 5 % для шин шириной 15—60 мм и на 8 % — для шин шириной 60—120 мм.

Таблица 2.31. **Четырехполосные шины с расположением полос по сторонам квадрата («полый пакет»)**



Размеры, мм				Сечение четырехполосной шины, мм²	Нагрузка, А, на пакет шин	
h	b	h_1	H		медных	алюминиевых
80	8	140	157	2560	5750	4550
80	10	144	160	3200	6400	5100
100	8	160	185	3200	7000	5550
100	10	164	188	4000	7700	6200
120	10	184	216	4800	9050	7300

Таблица 2.32. **Шины коробчатого сечения из алюминия**



Сечение одной шины, мм²	Нагрузка на две шины, А	Сечение одной шины, мм²	Нагрузка на две шины, А	Сечение одной шины, мм²	Нагрузка на две шины, А
695	2670	1785	5650	4040	8830
775	2820	2440	6430	4880	10 300
1010	3500	3435	7550	5450	10 800
1370	4640				

2.9. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДОПУСТИМЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК НА КАБЕЛИ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫЕ В БЛОКАХ

В табл. 2.33 приведены допустимые длительные нагрузки для трехжильного кабеля 10 кВ с медными жилами 3×95 мм² в зависимости от номера канала блока, в котором он проложен, и при условии, что все остальные каналы блока, обозначенные в таблице цифрами, также заполнены кабелями, одновременно несущими нагрузку.

Для кабеля другого сечения, другого напряжения и при другой загрузке блока допустимую длительную нагрузку следует определять по выражению

$$I_{доп} = abcdI_0, \qquad (2.18)$$

где I_0 — ток, определяемый по табл. 2.33; a — коэффициент из табл. 2.34; b — коэффициент, учитывающий напряжение кабеля и равный 1 при 10 кВ, 1,05 при 6 кВ и 1,09 при 3 кВ и менее; c — коэффициент, учитывающий среднесуточную загрузку блока $S_{ср.сут}/S_н$, где $S_{ср.сут}$ — сумма среднесуточных мощностей, передаваемых кабелями блока; $S_н$ — сумма мощностей, передаваемых теми же кабелями при их допустимой длительной нагрузке (при среднесуточной загрузке блока, равной 1; 0,85; 0,7 коэффициент c равен соответственно 1; 1,07; 1,16); d — поправочный коэффициент, зависящий от расстояния A между двумя параллельными блоками одинаковой конфигурации и приведенный ниже:

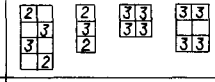
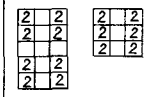
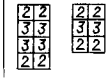
A, м	0,5	1	1,5	2
d	0,85	0,89	0,91	0,93

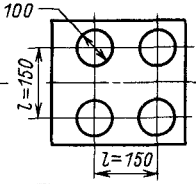
Продолжение

A, м	2,5	3	Более 3
d	0,95	0,96	1

Для кабелей с алюминиевыми жилами допустимые длительные нагрузки принимаются равными $0{,}77I_{доп}$ по (2.18).

Таблица 2.33. **Длительно допустимые токовые нагрузки I_0 для трехжильного кабеля с медными жилами 3×95 мм², 10 кВ в зависимости от номера канала блока, в котором он проложен, если другие кабели того же блока нагружены на 100 %**

Группы	Конфигурация блоков	№ отверстий	I_0, А
I		1	191
II		2	173
		3	167
III		2	154
IV		2	147
		3	138



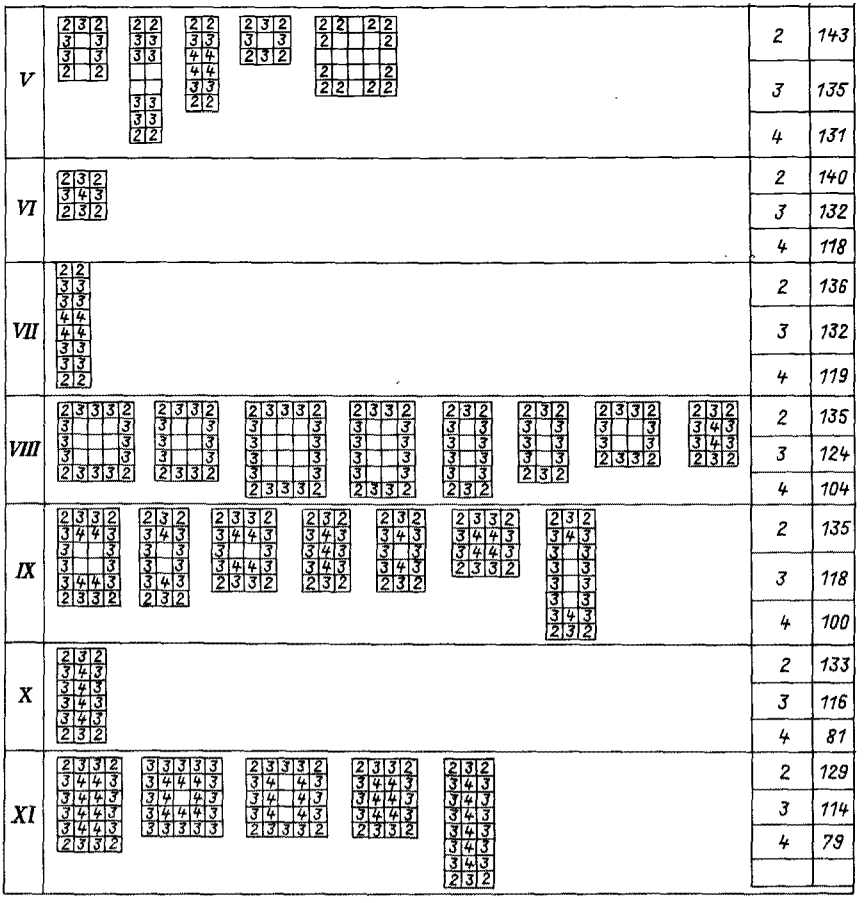


Таблица 2.34. **Поправочный коэффициент a, учитывающий сечение кабеля и месторасположение его в блоке**

Сечение жилы, мм^2	Значение коэффициента при номере канала блока			
	1	2	3	4
25	0,44	0,46	0,47	0,51
35	0,54	0,57	0,57	0,6
50	0,67	0,69	0,69	0,71
70	0,81	0,84	0,84	0,85

Продолжение табл. 2.34

Сечение жилы, мм^2	Значение коэффициента при номере канала блока			
	1	2	3	4
95	1	1	1	1
120	1,14	1,13	1,13	1,12
150	1,33	1,3	1,29	1,26
185	1,5	1,46	1,45	1,38
240	1,73	1,7	1,68	1,55

2.10. ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

Рекомендуемые значения экономической плотности тока указаны в табл. 2.35. Проверке по этим данным подлежат все загруженные сети с достаточно большим числом часов использования максимума нагрузки. При этом не следует учитывать повышение нагрузки в периоды ликвидации аварий или ремонтов.

Не подлежат проверке по экономической плотности тока:

сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ при числе часов использования максимума нагрузки до 4000—5000;

ответвления к отдельным электроприемникам до 1 кВ, а также осветительные сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий;

проводники, идущие к резисторам, пусковым реостатам и т. п.;

сборные шины электроустановок и ошиновка в пределах распределительных устройств всех напряжений;

сети временных сооружений, а также устройства со сроком службы 3—5 лет.

За расчетный ток для выбора экономического сечения проводов принимается расчетный ток линии в час максимума энергосистемы.

Для линии одинакового сечения с n ответвляющимися нагрузками экономическая плотность тока начального участка должна быть увеличена по сравнению с данными табл. 2.35 в k_y раз:

$$k_y = \sqrt{\frac{I_1^2 L}{I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + , \ldots , + I_n^2 l_n}}, \quad (2.19)$$

где $I_1, I_2, \ldots, I_n$ — нагрузки отдельных участков линии; $l_1, l_2, \ldots, l_n$ — длины отдельных участков линии; L — полная длина линии.

Для линии с однотипными, взаимно резервирующими друг друга электроприемниками общим числом n, из которых m могут одновременно находиться в работе, данные табл. 2.35 умножаются на $\sqrt{n/m}$.

Таблица 2.35. **Экономическая плотность тока**

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм², при числе часов использования максимума нагрузки, ч/год		
	1000—3000	3000—5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3	2,5	2
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Выбор экономических сечений проводов воздушных и кабельных линий, от которых осуществляются промежуточные отборы мощности, производится для каждого участка исходя из расчетных токов этих участков.

Данные табл. 2.35 должны быть увеличены на 40 % при максимуме расчетной нагрузки преимущественно в ночное время и для изолированных проводников сечением 16 мм² и менее.

Когда сечение, определенное по экономической плотности тока, не совпадает со значением стандартного, в качестве экономического следует принимать ближайшее меньшее сечение.

В. ВЫБОР ВИДА ПРОКЛАДКИ, МАРОК КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ

2.11. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Электрические сети (силовые, осветительные, вторичные) напряжением до 500 кВ выполняются кабелями и изолированными проводами и прокладываются внутри и вне зданий и сооружений.

Прокладка кабелей и проводов может выполняться:

открытой, выполненной по строительным конструкциям, механизмам, на роликах и изоляторах, на опорах, на лотках, полках (консолях), на канате (проволоке), в коробах и т. д.;

скрытой сменяемой, выполненной в за-

Таблица 2.36. **Допустимая разность уровней между высшей и низшей точками расположения кабеля**

Номинальное напряжение кабеля, кВ	Пропитка изоляции	Характеристика кабеля	Разность уровней, м, не более
1 и 3	Вязкая	Небронированный:	
		в алюминиевой оболочке	25
		в свинцовой оболочке	20
		Бронированный	25
1, 3, 6	Обедненная	В алюминиевой оболочке	Без ограничений
		В свинцовой оболочке	100
6	Вязкая	В алюминиевой оболочке	20
		В свинцовой оболочке	15
10, 20, 35	Вязкая	В алюминиевой или свинцовой оболочке	15

Примечания: Для кабелей 20 и 35 кВ для стояков у концевых муфт (с учетом периодической замены кабеля) разность уровней — до 10 м.

2. Кабели силовые с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом, предназначенным для прокладки на вертикальных и крутонаклонных участках трасс без ограничения разности уровней.

мкнутых каналах строительных конструкций, в закрытых полостях и нишах, за непроходными подвесными потолками, в гипсокартонных и аналогичных перегородках, в блоках, трубах и гибких рукавах, в неперфорированных сплошных коробах, в каналах и т. д.;

скрытой замоноличенной, выполненной под штукатуркой, в защукатуриваемых бороздах строительных конструкций, замоноличенно в строительных конструкциях при их изготовлении и т. д.

Проектирование и сооружение электрических сетей должно осуществляться на основании технико-экономического сравнения вариантов сети с учетом ее развития, ответственности и назначения, характера трассы, видов прокладки, конструкции кабелей и проводов, а также условий пожарной безопасности, требований электробезопасности, технической эстетики.

Кабельная трасса должна выбираться с учетом допустимой разности уровней между высшей и низшей точками расположения кабелей, наименьшего расхода и минимального числа поворотов кабелей и проводов, обеспечения их защиты от механических, тепловых и огневых воздействий, защиты от коррозии и вибрации.

При прокладке кабельных линий напряжением до 35 кВ на вертикальных и крутонаклонных участках без применения специальных устройств (например, стопорных муфт) допускаются разности уровней между высшей и низшей точками расположения кабелей с бумажной изоляцией, указанные в табл. 2.36.

При применении одножильных кабелей и проводов в электрических цепях переменного и выпрямленного тока следует обеспечивать равномерное распределение тока между кабелями и проводами одного присоединения, а также безопасность при прикосновении к их броне и металлическим оболочкам.

При токе более 25 А и применении крепящих стальных изделий, образующих замкнутый магнитный контур, одножильные кабели провода одного присоединения необходимо прокладывать сквозь них совместно (например, в одной стальной трубе, под один стальной хомут и т. д.) либо обеспечивать разрыв магнитного контура, либо применять изделия из немагнитных материалов.

Радиусы изгиба кабелей и проводов должны быть не менее указанных в стандартах, технических условиях и другой технической документации на соответствующие марки кабелей и проводов.

Во влажных, сырых и особо сырых помещениях, а также вне зданий и сооружений трубы с кабелями и проводами следует прокладывать с уклоном менее 0,002.

Вид прокладки кабелей и проводов в пыльных помещениях необходимо выбирать с учетом обеспечения минимально возможного отложения на них пыли, а также ее удаления (например, прокладка кабелей и проводов в вертикальной плоскости или в горизонтальной плоскости однослойно с промежутками, в замкнутых каналах строительных конструкций, в трубах, герметичных гибких рукавах и т. д.).

Непосредственно по облегченным металлическим конструкциям с горючим и трудногорючим утеплителем прокладывать кабели и провода запрещается.

Кабели и провода различных цепей, как правило, следует группировать в зависимости от их функционального назначения, напряжения и категории электроприемников (например, прокладка всех кабелей на напряжени

выше 1 кВ на одной или нескольких смежных кабельных полках).

Допускается группировать кабели и провода вторичных цепей с силовыми на напряжение до 1 кВ (за исключением помехозащищенных цепей). Запрещается группировать:

маслонаполненные кабели с кабелями и проводами других конструкций;

взаморезервирующие кабели и провода;

кабели и провода цепей на напряжение до 1 кВ с кабелями и проводами цепей на напряжение выше 1 кВ;

силовые кабели и провода на напряжение до 1 кВ с кабелями и проводами вторичных цепей электроприемников I категории, помехозащищаемых цепей и цепей связи;

кабели и провода всех назначений с кабелями и проводами пожарной автоматики.

Совместная прокладка проводов всех сечений и кабелей на напряжение до 1 кВ с сечением жил до 16 мм^2 (для цепей освещения — до 25 мм^2) в одном отсеке короба или лотка, в трубе, гибком рукаве, пучке, в замкнутом канале строительной конструкции допускается для:

цепей одного электроприемника, агрегата, сложного светильника;

цепей нескольких электроприемников, объединенных в одну технологическую линию;

цепей нескольких групп одного вида освещения (рабочего, аварийного, эвакуационного) или аварийного и эвакуационного освещения; при этом общее число проводов в трубе, рукаве, замкнутом канале должно быть не более 8.

Допускается аналогичная прокладка указанных кабелей и проводов цепей на напряжение до 42 В и выше переменного тока или до 110 В и выше постоянного тока, за исключением цепей малых напряжений переносных электроприемников, применяемых в помещениях с повышенной опасностью, в особо опасных помещениях и вне помещений. При этом изоляция проводов должна соответствовать высшему напряжению одной из этих цепей. Совместная прокладка проводов указанных цепей в стальных трубах и замкнутых каналах строительных конструкций не допускается.

Допускается прокладка указанных кабелей и проводов взаиморезервирующих цепей (за исключением особой группы I категории), цепей, относящихся к взаиморезервирующим (рабочему и резервному) электроприемникам, питающих цепей рабочего и аварийного или эвакуационного освещения только в разных отсеках коробов и лотков, разделенных сплошной продольной перегородкой из негорючих материалов, а также по разным сторонам швеллера, уголка и т. д.

Многослойно, пучками и однослойно без промежутков рекомендуется прокладывать провода всех сечений и кабели на напряжение до 1 кВ с сечением жил до 16 мм^2 (для цепей освещения — до 25 мм^2) в лотках, коробах, трубах, замкнутых каналах строительных конструкций и т. д. При этом следует учитывать следующее:

высота слоев кабелей и проводов, прокладываемых многослойно в коробах и лотках, должна быть не более 0,15 м;

суммарная площадь поперечных сечений кабелей и проводов относительно внутреннего поперечного сечения замкнутого канала строительной конструкции должна быть не более 35 %;

число кабелей и проводов, прокладываемых в одной трубе, следует определять по соответствующей технической документации;

высота (диаметр) пучка должна быть не более 0,1 м;

расчетное расстояние между пучками кабелей или проводов силовых цепей должно быть не менее 20 мм; расчетное расстояние между пучками кабелей или проводов вторичных цепей, а также между пучками кабелей или проводов силовых и вторичных цепей не нормируется;

фактические расстояния между пучками кабелей и проводов не нормируются.

Кабели разных электрических цепей на напряжение до 1 кВ с сечением жил 25 мм^2 (для цепей освещения 25 мм^2) и более не рекомендуется, а кабели на напряжение выше 1 кВ не допускается прокладывать многослойно, пучками и однослойно без промежутков.

Кабели и провода, проложенные однослойно, как правило, должны быть доступны для ремонта, а проложенные открыто — и для осмотра.

Скрытую прокладку кабелей и проводов, как правило, следует выполнять с учетом возможности их замены. Допускается несменяемая (замоноличенная) прокладка в стенах и перегородках кабелей и проводов, специально для этого предназначенных; аналогичная прокладка кабелей и проводов в полу и перекрытии не допускается (исключение см. гл. 7.1 ПУЭ).

Взаиморезервирующие кабели и провода, относящиеся к электроприемникам I категории, как правило, следует прокладывать по разным трассам изолированно друг от друга в противопожарном отношении.

Прокладка транзитных кабелей и проводов (в том числе в трубах, коробах и т. д.), относящихся к электроприемникам I категории, по стенам из горючих материалов не допускается.

Таблица 2.37. **Минимальные сечения жил проводов и кабелей**

Наименование, вид прокладки и присоединения проводов и кабелей	Минимальное сечение жил проводов и кабелей, мм²		
	медной	алюминиевой	алюмомедной
I. Провода для присоединения к неподвижным электроприемникам:			
Внутри помещений			
непосредственно по строительным конструкциям, на роликах и клицах, на канате, в трубах и гибких рукавах, в замкнутых каналах строительных конструкций, замоноличенно в строительных конструкциях и под штукатуркой	1	2	—
на лотках, в коробах:			
для однопроволочной жилы	0,2	2	1,5
для многопроволочной жилы	0,35	—	—
на изоляторах	1,5	4	4
провода со скрученными многопроволочными жилами на роликах	1	—	—
Вне помещений			
на изоляторах, на канате	2,5	4	4
под навесом на роликах	1,5	2,5	2,5
в коробах:			
для однопроволочной жилы	0,5	2	1,5
для многопроволочной жилы	0,35	—	—
II. Кабели для присоединения к неподвижным электроприемникам:			
непосредственно по строительным конструкциям, на изоляторах, роликах и клицах, на канате, на лотках, в коробах:			
для однопроволочной жилы	0,5	2	1,5
для многопроволочной жилы	0,35	—	—
в трубах, гибких рукавах, замкнутых каналах строительных конструкций, замоноличенно в строительных конструкциях:			
для однопроволочной жилы	0,5	2	1,5
для многопроволочной жилы	0,35	—	—
в грунте	1,5	2,5	—
III. Гибкие провода, кабели, шнуры для присоединения к передвижным и переносным электроприемникам:			
промышленных электроустановок	0,75	—	—
бытовых электроустановок	0,35	—	—
IV. Провода и кабели для присоединения к электроприемникам на вибронзолирующих опорах:			
для однопроволочной жилы	1,5	—	—
для многопроволочной жилы	0,75	16	—
V. Провода и кабели для присоединения к контактным зажимам под винт «кольцом»:			
для однопроволочной жилы	1	2	2,5
для многопроволочной жилы	0,75	—	—
с помощью наконечника:			
для однопроволочной жилы	1	2	1,5
для многопроволочной жилы	0,35	—	—
к безвинтовому контактному зажиму	0,2	2	1,5
к винтовому контактному зажиму:			
для однопроволочной жилы	0,75	2	1,5
для многопроволочной жилы	0,35	—	—
пайкой:			
однопроволочной жилы	0,5	—	—
многопроволочной жилы	0,35	—	—
накруткой	0,12	—	—

Прокладка транзитных кабелей и проводов сквозь здания и сооружения, к которым они не отиосятся, как правило, не допускается.

На территории одиого предприятия допускается прокладывать по внешним поверхностям наружных стен, а также через технические подполья и подвалы, обслуживаемые квалифицированным персоналом, транзитные кабели на напряжение до 1 кВ, не относящиеся к данному зданию или сооружению. При этом они должны быть изолированы от других кабелей и проводов в противопожарном отношении.

Многожильные кабели с однопроволочными (монолитными) жилами сечением 95 мм^2 и более прокладывать в трубах, блоках и по сложным трассам не рекомендуется, а при наличии алюминиевой оболочки не допускается.

Минимальные сечения жил проводов и кабелей с учетом их механической прочности должны быть не менее сечений, указанных в табл. 2.37, но не менее сечений, приведенных в нормально-технической документации на электротехнические изделия, к которым должны быть присоединены провода и кабели.

2.12. ВЫБОР ВИДА ПРОКЛАДКИ

При выборе вида прокладки кабелей и проводов (табл. 2.38) предпочтение следует отдавать открытой прокладке кабелей и проводов; при наличии двух и более условий, характеризующих окружающую среду, вид прокладки должен соответствовать этим условиям; при высоком уровне грунтовых вод следует отдавать предпочтение надземным и наземным видам прокладки кабелей и проводов; прокладку кабелей и проводов в подземиых кабельных сооружениях рекомендуется выполнять после проведения соответствующего технико-экономического анализа.

Когда другие виды прокладки кабелей и проводов запрещены или не могут быть применены, разрешается использовать металлические трубы, например: при выводе труб из полов, фундаментов, кабельных сооружений к электротехническим изделиям; в сложных (по конструкции) и глубоких фундаментах, в грунте между фундаментами (фундаментами и кабельными подземными сооружениями) на глубине более 2 м; в вентиляционных туннелях, каналах и шахтах; при прокладке по технологическому оборудованию, в зонах, где ведутся работы с использованием нагретого металла; при открытой прокладке в чердаках с горючими строительными конструкциями; при открытой прокладке за непроходными подвесными потолками из горючих материалов; при прокладке по поверхностям облегченных металлических конструкций с горючим и трудиогорючим утеплителем; при открытой прокладке в вычислительных центрах, домах-интернатах для инвалидов и престарелых, спальных корпусах лечебных учреждений и пионерских лагерей, детских яслях и садах, в пределах сцен, эстрад, манежей, кинопроекторных, перемоточных, в зрительных залах с числом мест 800 и более; при прокладке по внешним поверхностям наружных стен зданий и сооружений; при прокладке в грунте «проколом» и в других обоснованных случаях.

В обосиованных случаях допускается прокладывать кабели и провода по проходным кабельным эстакадам или в блочных коробах над покрытиями здаиий и сооружений на высоте в свету не менее 1,5 м от кровли. Прокладка кабедей и проводов (в том числе в трубах и коробах) непосредственно по кровлям зданий и сооруженнй не допускается.

Прокладку кабелей в блоках рекомендуется применять в местах, насыщенных подземными инженерными сетями, в местах пересечения с автомобильными и железиыми дорогами и проездами, в местах возможного разлива металла и т. д.

В городах и поселках кабели, как правило, следует прокладывать в грунте под непроезжей частью улиц и площадей (под тротуарами, техническими полосами в виде газонов), по дворам. При отсутствии технических полос кабели (в том числе кабели на напряжение 110 кВ и выше) допускается прокладывать под проезжей частью улиц в грунте, каналах и туннелях.

В местах, насыщенных подземными инженерными сетями, прокладку десяти и более кабелей рекомендуется выполнять в туннелях, блоках, каналах, коллекторах.

При пересечении улиц и площадей с интенсивным движением транспорта кабели следует прокладывать в блоках или трубах.

В районах многолетней мерзлоты выбор вида прокладки кабелей следует осуществлять в зависимости от местных условий с учетом физических явлений, связанных с природой многолетней мерзлоты (морозобойные трещины, оползни, пучинистый грунт и т. д.). При этом прокладку кабелей рекомендуется выполнять в комбинированных сооружениях, в наземных и надземных кабельных сооружениях. Допускается прокладка кабелей в грунте.

Таблица 2.38. **Выбор вида прокладки кабелей и проводов с учетом условий прокладки**

Вид прокладки	Условия прокладки	Вид кабельного изделия	Прокладка по конструкциям из материалов		
			горючих	трудногорючих	негорючих
Открытая прокладка Пластмассовых труб из трудногорючих материалов (поливинилхлоридных непластифицированных и т. п.)	В любых помещениях*[1]; вне зданий и сооружений	Провода	С подкладкой*[2]	Непосредственно	Непосредственно
		Кабели	Непосредственно		
Стальных труб	В помещениях (в сырых и особо сырых — при толщине стенок труб более 2 мм), за исключением помещений с химически активной средой; вне зданий и сооружений — при толщине стенок труб более 2 мм	Провода*[3]			
Гибких металлических рукавов	В помещениях (в особо сырых и пыльных — в герметичных рукавах), за исключением помещений с химически активной средой	Провода	С подкладкой*[2]	Непосредственно	Непосредственно
		Кабели	Непосредственно		
Стальных коробов	В любых помещениях (в пыльных — при обеспечении удаления пыли); вне зданий и сооружений	Провода, кабели			
Пластмассовых коробов из трудногорючих материалов	В любых помещениях (в пыльных — при обеспечении удаления пыли)	Провода	С подкладкой*[2]	Непосредственно	Непосредственно
	Вне зданий и сооружений	Кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
На кабельных конструкциях (на лотках, полках, подвесах)	В любых помещениях	Провода, кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
	Вне зданий и сооружений	Кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
На канате, проволоке	В помещениях, за исключением особо сырых и помещений с химически активной средой	Провода, кабели	С подкладкой*[2]	Непосредственно	Непосредственно
	Вне зданий и сооружений	Провода*[4], кабели	—	—	—
На роликах, на клицах	В сухих, влажных и жарких помещениях	Провода	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно

На изоляторах, на специальных (высоких) роликах	В помещениях (за исключением особо сырых)	Провода	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
	Вне зданий и сооружений	Провода*5	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
По строительным конструкциям непосредственно (в том числе на струнах, полосах и т. д.)	В сухих, влажных и жарких помещениях	Провода	С подкладкой*2	Непосредственно	Непосредственно*6
	В любых помещениях, вне зданий и сооружений	Кабели	С подкладкой*2	Непосредственно	Непосредственно*6
Скрытая прокладка					
Пластмассовых труб из горючих материалов (полиэтиленовых, полипропиленовых и т. п.)	Замоноличенно в строительных конструкциях	Провода, кабели	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
Пластмассовых труб из трудносгораемых материалов (полвинилхлоридных непластифицированных и т. п.)	Замоноличенно в строительных конструкциях; незамоноличенно за подвесными непроходными потолками, а также в закрытых нишах и пустотах строительных конструкций из горючих и трудносгораемых материалов; внутри гипсокартоиных перегородок	Провода, кабели	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
Стальных труб	Замоноличенно в строительных конструкциях	Провода*3, кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
	Незамоноличенно за подвесными непроходными потолками, в закрытых нишах и пустотах строительных конструкций, внутри гипсокартонных перегородок	Провода*3, кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
Гибких металлических рукавов	Замоноличенно в строительных конструкцнях	Провода	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
		Кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
	Незамоноличенно за подвесными непроходными потолками, в закрытых нишах и пустотах строительных конструкций, виутри гипсокартонных перегородок	Провода	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
		Кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
Стальных коробов	Незамоноличенно за подвесными непроходными потолками, в закрытых нишах и пустотах стронтельных конструкций	Провода, кабели	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно

Продолжение табл. 2.38

Вид прокладки	Условия прокладки	Вид кабельного изделия	Прокладка по конструкциям из материалов		
			горючих	трудногорючих	негорючих
Пластмассовых коробов из трудногорючих материалов	Незамоноличенно за подвесными непроходными потолками, а также в закрытых нишах и пустотах строительных конструкций из несгораемых и трудносгораемых материалов	Провода, кабели	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
Кабели и провода внутри строительных конструкций	Замоноличенно в строительных конструкциях помещений (за исключением особо сырых, а также с химически активной средой)	Провода	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
	Незамоноличенно в замкнутых каналах строительных конструкций	Провода, кабели	Не допускается	Непосредственно	Непосредственно
	Незамоноличенно за подвесными непроходными потолками, в закрытых нишах и пустотах строительных конструкций из несгораемых и трудносгораемых материалов; внутри гипсокартонных перегородок	Кабели	С подкладкой*[2]	Непосредственно	Непосредственно

[1] В каждом изолированном в противопожарном отношении помещении технического подполья жилых зданий высотой 10 этажей и более, доступном только для квалифицированного обслуживающего персонала, допускается прокладывать не более восьми труб с наружным диаметром 40 мм. Допускается другое сочетание труб, если их суммарная масса не превышает суммарную массу восьми труб диаметром 40 мм. Не допускается прокладка междуэтажных стояков: в жилых зданиях высотой 10 этажей и более; в общественных зданиях высотой 10 этажей и более[7]; в стационарах*[8] больничных учреждений и учреждений для матерей и детей; в домах-интернатах для престарелых и инвалидов; детских яслях и садах; в спальных корпусах пионерских лагерей; в зрительных залах с числом мест 800 и более; на сценах, манежах, эстрадах; в кинопроекторных и перемоточных помещениях; в помещениях вычислительных центров с учетом требований СН 512—78; во взрывоопасных зонах.

*[2] С подкладкой негорючего материала (например, асбеста, штукатурки и т. п.). В животноводческих, птицеводческих, звероводческих зданиях, а также в зданиях кормопроизводств подкладку под трубы выполнять не следует.

*[3] На чердаках и за подвесными потолками со строительными конструкциями из горючих материалов, а также внутри или по внешним поверхностям облегченных металлических конструкций с горючим утеплителем — с учетом табл. 7.4.4 ПУЭ.

*[4] Только специальные провода, предназначенные для прокладки вне зданий и сооружений.

*[5] Провода на роликах — с защитой от осадков (под навесом).

*[6] В том числе по обоям и под обоями.

*[7] С учетом требований п. 1.2 СНиП 2.08.02—85.

*[8] При блокировании здания стационара с другим зданием больничного учреждения область применения труб для всего блока зданий должна определяться, как для стационара.

2.13. ВЫБОР КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ

При выборе марок кабелей и проводов следует руководствоваться табл. 2.39—2.42.

Области применения кабелей и проводов, как правило, должны соответствовать требованиям стандартов и технических условий на кабели и провода, а также правил устройства электроустановок.

Допускается использовать контрольные кабели для подключения до двух электроприемников напряжением до 1 кВ и мощностью до 10 кВт, относящихся к одному агрегату или одной технологической линии.

Как правило, следует применять кабели и провода, не распространяющие горение. Распространяющие горение кабели и провода допускается применять: во вторичных цепях — при прокладке только в стальных трубах и в электротехнических стальных неперфорированных коробах; в силовых и вторичных цепях — при прокладке в грунте.

В закрытых кабельных сооружениях при открытой прокладке рекомендуется применять кабели, имеющие буквенное обозначение «НГ» или аналогичное.

Для присоединения к неподвижным электроприемникам, как правило, следует применять кабели и провода с алюминиевыми жилами.

Кабели и провода с медными жилами следует применять при открытой прокладке в чердаках со стропильными конструкциями из горючих материалов и за подвесными потолками из горючих материалов, для присоединения к переносным, передвижным и установленным на виброизолирующих опорах электроприемникам, а также в случаях, оговоренных ПУЭ.

Кабели и провода, присоединяемые к переносным, передвижным и установленным на виброизолирующих опорах электроприемникам, должны быть гибкими. Допускается применять негибкие кабели и провода с однопроволочными медными жилами для присоединения к электродвигателям вентиляторов мощностью до 30 кВт на напряжение до 1 кВ, установленным на виброизолирующих опорах.

Выбор кабелей и проводов следует осуществлять по участку трассы с наиболее тяжелыми условиями прокладки, если длина каждого участка с более легкими условиями не превышает строительной длины кабеля или провода. При длине участков трассы с различными условиями прокладки более строительной длины кабелей и проводов выбор их следует осуществлять для каждого участка. Сечения жил кабелей и проводов необходимо выбирать с учетом требований ПУЭ.

В крупных городах в местах, насыщенных подземными инженерными сетями, для прокладки в грунте, как правило, следует применять бронированные кабели. Для прокладки в агрессивных грунтах и в зонах действия блуждающих токов следует применять кабели с соответствующими оболочками и защитными покровами (например, со свинцовой оболочкой в наружном пластмассовом шланге и т. д.). Для прокладки в кабельных сооружениях и электротехнических помещениях, как правило, следует применять небронированные кабели.

В производственных помещениях, в комбинированных галереях, шахтах и туннелях, на комбинированных эстакадах рекомендуется прокладывать небронированные кабели, защищенные в местах возможных механических, тепловых и химических воздействий. В обоснованных случаях допускается применять бронированные кабели.

В городских коллекторах рекомендуется прокладывать бронированные кабели.

Для прокладки в кабельных блоках из строительных панелей, как правило, следует применять небронированные кабели со свинцовой оболочкой. В блоках длиной до 50 м каждый допускается прокладывать бронированные кабели со свинцовой или алюминиевой оболочкой без наружного покрова из кабельной пряжи. Для прокладки в кабельных блоках из труб или электротехнических панелей, а также в трубах рекомендуется применять небронированные кабели с пластмассовой или резиновой оболочкой. В блоках и трубах длиной до 50 м каждый допускается прокладывать небронированные и бронированные кабели с металлической оболочкой с наружным пластмассовым шлангом, а также провода, предназначенные для такой прокладки.

Для прокладки по железнодорожным мостам, а также по мостам с интенсивным движением других видов транспорта рекомендуется применять кабели с ленточной броней с алюминиевой или пластмассовой оболочкой. Допускается применять небронированные кабели с алюминиевой оболочкой в защитном шланге или с пластмассовой оболочкой.

Для подводной прокладки, как правило, следует применять кабели с проволочной броней, по возможности одной строительной длины. С этой целью допускается применять одножильные кабели.

Для прокладки через небольшие несудоходные и несплавные реки шириной (вместе с затопляемой поймой) до 100 м с устойчивым руслом и дном допускается применять кабели с ленточной броней.

При пересечении ручьев, их пойм, водоотводных канав следует применять такие же кабели, как и для прокладки в грунте.

Таблица 2.39. **Выбор проводов в зависимости от условий прокладки**

Вид прокладки	Марка провода в помещении или среде									
	сухом	влажном	сыром	особо сыром	жарком*1	пыльном	химически активной среде	вне зданий и сооружений	взрывоопасной зоне*2	пожароопасной зоне
Открытая по строительным конструкциям из негорючих и трудногорючих материалов: непосредственно (в том числе на струнах, лентах, полосах)	АПВ, АППВ, АПРН, АПРФ, АМПВ, АМППВ	АПВ, АППВ, АПРН, АПРФ, АМПВ, АМППВ	АПВ, АППВ, АПРН	—	АПВ, АППВ, АПРН, АПРФ, АМПВ, АМППВ	—	—	—	—	АПРН, ПВ1
на роликах	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, ПРД*2, ПРВД*2, АМПВ	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН, АМПВ	—	—	—	АПРН, ПВ1
на клицах	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, ПРД*2, ПРВД*2, АМПВ	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	—	—	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	—	—	—	—	АПРН, ПВ1
на изоляторах и специальных (высоких) роликах	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АП, АПРТО, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН, АМПВ	АПВ	АПВ*3	—	АПРН, ПВ1
на лотках	АПВ, АПРТО,	АПВ, АПРТО,	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРТО,	АПВ*4, АПРН*4,	АПВ	—	—	АПРН, ПВ1

	АПРН, АМПВ	АПРН, АМПВ			АПРН, АПРФ, АМПВ	АМПВ*4				
в коробах	АПВ, АПРТО, АПРН, АМПВ	АПВ, АПРТО, АПРН, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРН, АМПВ	АПВ*5, АПРН*5, АМПВ*5	—	АПВ*5, АПРН*5	—	АПВ, АПРН, ПВ1
в специальных плинтусах	АПВ, АППВ, АПРН, АМПВ, АМПВ	АПВ, АППВ, АПРН, АМПВ, АМПВ	—	—	АПВ, АППВ, АПРН, АМПВ, АМПВ	—	—	—	—	АПВ, АППВ, АПРН
в поливинилхлоридных трубах	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АНРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АНРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АНРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в стальных трубах*7	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в гибких металлическнх рукавах	АПВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АПРН	—	—	—	—	АПРН
на канате или проволоке	АВТВ, АПРН, АПВ	АВТВ, АПРН, АПВ	АВТВ, АПРН, АПВ	—	АВТВ, АПРН, АПВ	АВТВ, АПРН, АПВ	—	АВТ	—	АПРН
Открытая по строительным конструкцням из горючих материалов: непосредственно (в том числе на струнах, лентах, полосах)	АПРН, АПРФ, АППР*8	АПРН, АПРФ, АППР*8	АПРН, АПРФ*8	—	АПРН, АПРФ	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.39

Вид прокладки	Марка провода в помещении или среде									
	сухом	влажном	сыром	особо сыром	жарком*1	пыльном	химически активной среде	вие зданий и сооружений	взрывоопасной зоне*2	пожароопасной зоне
с подкладкой под провода негорючих материалов*9	АПВ, АППВ, АМПВ, АМППВ	АПВ, АППВ, АМПВ, АМППВ	АПВ, АППВ	—	АПВ, АППВ, АМПВ, АМППВ	—	—	—	—	—
на ролнках	АПВ, АПРН, АПРФ, ПРД*2, ПРВД*2, АМПВ	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН, АМПВ	—	—	—	—
на клнцах	АПВ, АПРН, АПРФ, ПРД*2, ПРВД*2, АМПВ	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	—	—	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	—	—	—	—	—
на нзоляторах н специальных (высоких) роликах	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН, АМПВ	АПВ	АПВ*3	—	—
на лотках	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН, АПРФ, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРН, АМПВ	АПВ*4, АПРН*4, АМПВ*4	АПВ	—	—	—
в коробах	АПВ, АПРН, АПРТО, АМПВ	АПВ, АПРН, АПРТО, АМПВ	АПВ, АПРН	—	АПВ, АПРН, АМПВ	АПВ*5, АПРН*5, АМПВ*5	—	АПВ*5, АПРН*5	—	АПВ, АПРН, ПВ1
в полнвиннлхлоридных трубах*9	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН

в стальных трубах*7	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в гибких металлических рукавах	АПВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АПРН	—	—	—	—	АПВ, АПТО, АПРРН
на канате или проволоке	АВТВ, АПРН, АПВ	АВТВ, АПРН, АПВ	АВТВ, АПРН, АПВ	—	АВТВ, АПРН, АПВ	АВТВ, АПРН, АПВ	—	АВТ	—	АПРН
Скрыто по строительным конструкциям из негорючих и трудногорючих материалов: в поливинилхлоридных трубах	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в полиэтиленовых и пропиленовых трубах	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в стальных трубах*7	АПВ, АПРТО, АППР*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО,	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в заштукатуренной борозде, в слое штукатурки, между слоями штукатурки или асбеста и т. д.*10	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	АППВ, АПВ	—	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	—	—	—	АППВ, АПВ
в замкнутых каналах строительных конструкций из негорючих материалов	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН	—	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН	—	—	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРТО, АПРН
замоноличенно в строительных конструкциях при их изготовлении	АППВ	АППВ	АППВ	—	—	АППВ	—	—	—	АППВ

Продолжение табл. 2.39

Вид прокладки	Марка провода в помещении или среде									
	сухом	влажном	сыром	особо сыром	жарком*1	пыльном	химически активной среде	вне зданий и сооружений	взрывоопасной зоне*2	пожароопасной зоне
Скрыто по строительным конструкциям из горючих материалов: в поливинилхлоридных трубах*10	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АППВ*6, АПРН
в стальных трубах*7	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН	—	АПВ, АПРТО, АППВ*6, АПРН
в заштукатуренной борозде, в слое штукатурки, между слоями штукатурки или асбеста и т. д.*10	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	АППВ, АПВ	—	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	АППВ, АМППВ, АПВ, АМПВ	—	—	—	АППВ, АПВ

*1 В жарких помещениях с температурой среды более 35 °С, но не более максимальной температуры эксплуатации проводов, указанной в технической документации, следует применять обычные (не теплостойкие) провода с введением поправочных коэффициентов на токи в соответствии с гл. 1.3 ПУЭ. В помещениях с температурой среды, превышающей указанную, следует применять специальные (теплостойкие или термостойкие) провода.

*2 Для прокладки в жилых и общественных зданиях при реконструкции.

*3 На специальных (высоких) ролнках с защитой от осадков (под навесом).

*4 При однослойной прокладке с промежуткамн между проводамн.

*5 При обеспеченни удаления пыли и влаги.

*6 Прокладка в трубах и каналах строительных конструкций плоских проводов с числом жнл три и более не рекомендуется.

*7 В сырых и особо сырых помещениях, вне зданий и сооружений — прн толщине стенок труб более 2 мм.

*8 Внутри зданий в сельской местности.

*9 С подкладкой листового асбеста толщиной не меиее 3 мм, а также штукатурки, алебастрового илн цементного раствора толщиной не менее 10 мм, выступающих в обе стороны от провода илн трубы на 10 мм.

*10 В слое штукатурки, бетона, алебастрового или цементного раствора толщнной не менее 10 мм; между слоями листового асбеста толщиной не менее 3 мм, выступающимн в каждую сторону от провода на 10 мм; с подкладкой листового асбеста толщиной не менее 3 мм. слоя штукатурки, алебастрового или цементного раствора толщиной ие меиее 10 мм, выступающего в обе стороны от провода или трубы на 10 мм, под слоем мокрой штукатурки.

Примечание. В таблице указаны провода для прокладки во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-II, В-IIа и В-Iг (классификация по ПУЭ шестого издания). Для прокладки во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Iа следует принимать аналогичные марки проводов с медными жилами.

Таблица 2.40. **Марки кабелей силовых, рекомендуемых для прокладки в земле (в траншеях)**

Область применения	Кабель прокладывается на трассе	С бумажной пропитанной изоляцией		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой[*1]
		В процессе эксплуатации не подвергаются растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации подвергаются значительным растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации не подвергаются растягивающим усилиям
В земле (траншее) с низкой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШвУ, ААШпУ, ААБлУ, АСБУ[*2]	ААПлУ, АСПлУ[*2]	АВВГ[*3], АПсВГ[*3], АПвВГ[*3], АПВГ[*3]
	С блуждающими токами	ААШвУ, ААШпУ, ААБ2лУ, АСБУ[*2]	ААП2лУ, АСПлУ[*2]	АПБбШв, АПвБбШв, АВБбШв, АПсБбШв
В земле (траншее) со средней коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШвУ, ААШпУ, ААБлУ, ААБ2лУ, АСБУ[*2], АСБлУ[*2]	ААПлУ, АСПлУ[*2]	АВАШв, АВРБ, АНРБ, АПвАШв, АПБбШв, АПвВбШв, АВБбШв, АПсБбШв
	С блуждающими токами	ААШпУ, ААШвУ[*4], ААБ2лУ, ААБвУ, АСБлУ[*2], АСБ2лУ[*2]	ААП2лУ, АСПлУ[*2]	
В земле (траншее) с высокой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШпУ, ААШвУ[*4], ААБ2лУ, АСП2лУ[*2], ААБ2лШвУ, ААБ2лШпУ, ААБвУ, АСБлУ[*2], АСБ2лУ[*2]	ААП2лШвУ, АСП2лУ[*2]	АВАШв, АВРБ, АНРБ, АПвАШв, АПБбШв, АПвБбШв, АВБбШв, АПсБбШв
	С блуждающими токами	ААШпУ, ААБвУ, АСБ2лУ[*2], АСБ2лШвУ[*2]	ААП2лШвУ, АСП2лУ[*2]	

[*1] Для прокладки на трассах без ограничения разности уровней.

[*2] Кабели в свинцовой оболочке применяют для подводных линий, шахт, опасных по газу и пыли, в особо опасных коррозионных средах. В остальных случаях применение этих кабелей в каждом конкретном случае должно быть специально технически обосновано в проектно-сметной документации.

[*3] Кабели на номинальное напряжение до 1 кВ включительно.

[*4] Подтверждается опытом эксплуатации.

Примечание. Кабели с пластмассовой изоляцией в алюминиевой оболочке не следует применять для прокладки на трассах с наличием блуждающих токов в грунтах с высокой коррозионной активностью.

Таблица 2.41. **Марки кабелей силовых, рекомендуемых для прокладки в воздухе**

Область применения	С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой	
	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации
Прокладка в помещениях (туннелях), каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях и пр.: сухих	ААГУ, ААШвУ	ААБлГУ	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПвВГ*[1], АПВГ*[1], АПсВГ	АВРБГ, АВБбШв, АВАШв, АПвБбШв, АНРГ
сырых, частично затапливаемых при наличии среды со слабой коррозионной активностью	ААШвУ	ААБлГУ		
сырых, частично затапливаемых при наличии среды со средней и высокой коррозионной активностью	ААШвУ, АСШвУ*[2]	ААБвГУ, ААБ2лШвУ, ААБлГУ, АСБлГУ*[2], АСБ2лГУ*[2], АСБ2лШвУ*[3]		
Прокладка в помещениях с пожароопасными зонами	ААГУ, ААШвУ	ААБвГУ, ААБлГУ, АСБлГУ*[2]	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АНРГ АСРГ*[2]	АВБбШв, АПсБбШв, АВРБГ, АСРБГ*[2]
Прокладка во взрывоопасных зонах классов*[6]: В-I, В-Ia	СБГУ, СБШвУ	—	ВВГ*[4], ВРГ*[4], НРГ*[4], СРГ*[4]	ВБВ, ВБбШв, НРБГ, СРБГ*[2]
В-Iг, В-II	ААБлГУ, АСБГУ*[2], ААШвУ	—	АВВГ, АВРГ, АНРГ	АВБВ, АВБбШв, АВРБГ, АНРБГ, АСРБГ*[2]
В-Iб, В-IIа	ААГУ, АСГУ*[2], АСШвУ*[2], ААШвУ	ААБлГУ, АСБГУ*[2]	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АСРГ*[2]	
Прокладка на эстакадах: технологических	ААШвУ	ААБлГУ, ААБвГУ, ААБ2лШвУ, АСБлГУ*[2]	—	АВРБГ, АНРБГ, АВАШв
специальных кабельных	ААШвУ, ААБлГУ, ААБвГУ*[5], АСБлГУ*[2]	—	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПсВГ	АВРБГ, АНРБГ

Продолжение табл. 2.41

Область применения	С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой	
	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации
Прокладка на эстакадах: по мостам	ААШвУ	ААБлГУ	АПвВГ, АПВГ, АВАШв	АВАШв
Прокладка в блоках	СГУ, АСГУ		АВВГ, АПсВГ, АПвВГ, АПВГ	

*1 Для одиночных кабельных линий, прокладываемых в помещениях.
*2 См. сноску 2 к табл. 2.40.
*3 Кабель марки АСБлШвУ может быть использован с особым обоснованием.
*4 Для групповых осветительных сетей во взрывоопасных зонах класса В-Iа.
*5 Применяются при наличии химически активной среды.

Таблица 2.42. **Марки кабелей, рекомендуемые для прокладки в воде и в шахтах**

Условия прокладки	С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		
	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	в процессе эксплуатации не подвергаются значительным растягивающим усилиям	в процессе эксплуатации подвергаются значительным растягивающим усилиям
В воде	—	—	СКлУ, АСКлУ, ОСКУ, АОСКУ
В шахтах	СШвУ, ААШвУ*	СБнУ, СБлнУ, СБШвУ, СБ2лШвУ, ААШвУ*.	СПлнУ, СПШвУ, СПлУ

* Кабель марки ААШвУ следует применять в шахтах, неопасных по газу и пыли.

В электроустановках с глухозаземленной нейтралью, как правило, следует применять многожильные кабели с нулевой жилой.

Допускается применять одножильные кабели или провода при условии объединения основных (фазных) и нулевой жил в один пучок.

Допускается использовать алюминиевую оболочку трехжильных кабелей в качестве нулевой жилы, за исключением взрывоопасных зон, а также электрических линий, в которых при нормальном режиме эксплуатации ток в нулевом проводнике составляет более 75 % длительно допустимого расчетного тока фазной жилы.

Использование для указанных целей свинцовых оболочек трехжильных кабелей допускается только в реконструируемых городских электрических сетях напряжением до 0,38 кВ.

Прокладка нулевых жил отдельно от основных (фазных) жил не допускается.

Г. УСТРОЙСТВО СЕТЕЙ

2.14. ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Открыто проложенные кабели (в том числе бронированные) и провода должны быть защищены от механических воздействий на них до безопасной высоты, но не менее чем на 2 м от уровня пола, технологической площадки обслуживания или земли.

Аналогично должны быть защищены небронированные кабели и провода, проложенные в местах, доступных для неквалифицированного обслуживающего персонала, даже при отсутствии вероятности механических воздействий. Высота прокладки кабелей и проводов в помещениях, доступных только для квалифицированного обслуживающего персонала, не нормируется.

Провода, прокладываемые открыто в сетях напряжением выше 42 В переменного тока и выше 110 В постоянного тока в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, должны быть защищены до безопасной высоты, но не менее чем на 2,5 м от уровня пола или технологической площадки обслуживания.

Кабели и провода вертикальных ответвлений к выключателям, аппаратам, щиткам, штепсельным розеткам и т. д. следует защищать от механических воздействий до высоты не менее 1,5 м от уровня пола или технической площадки обслуживания. В помещениях, доступных только для квалифицированного обслуживающего персонала, а также в административно-бытовых помещениях производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, в жилых и общественных зданиях указанные ответвления кабелей и проводов допускается не защищать.

Высота размещения металлических труб и коробов с кабелями и проводами не нормируется.

При параллельной прокладке и пересечениях расстояние от кабелей и проводов до трубопроводов, как правило, должно быть не менее 0,5 м. Допускается уменьшать указанное расстояние до 0,1 м, при этом кабели и провода должны быть защищены на всем участке сближения плюс не менее чем по 0,5 м с каждой стороны.

Допускается пересекать трубопроводы кабелями и проводами одиночных электрических цепей на напряжение до 1 кВ с сечением жил до 25 мм^2 на расстоянии в свету не менее 0,05 м без выполнения защиты.

Горизонтальную прокладку кабелей и проводов совместно с трубопроводами в одной вертикальной плоскости следует выполнять так, чтобы исключить попадание на кабели и провода из трубопроводов различных жидкостей, паров и газов.

Расстояния в свету от кабелей и проводов до токопроводов при параллельной прокладке и пересечениях должны быть не менее:

1,5 м — до токопроводов со степенью защиты IP00;

0,5 м — до токопроводов на напряжение выше 1 кВ со степенью защиты выше IP00;

0,5 м — от кабелей на напряжение выше 1 кВ до токопроводов со степенью защиты выше IP00;

0,1 м — от кабелей и проводов на напряжение до 1 кВ до токопроводов на напряжение до 1 кВ со степенью защиты выше IP00.

При пересечении кабелями и проводами проходов и проездов расстояния в свету от уровня пола или площадки обслуживания до кабельных конструкций должны быть не менее:

2 м — над проходами с регулярным движением людей;

1,8 м — над проходами с нерегулярным движением людей;

не менее высоты ворот для въезда транспортных средств над проездами.

При открытой прокладке в помещениях в одном потоке более 12 не распространяющих горение кабелей и проводов следует выполнять противопожарные мероприятия, обеспечивающие нераспространение горения всего потока. При прокладке более 12 кабелей и проводов в одном потоке на расстоянии менее 1 м от несущих металлических строительных конструкций зданий следует выполнять огнезащитное покрытие этих конструкций до 1 м по горизонтали и вертикали от потока кабелей и проводов для повышения предела их огнестойкости до 0,75 ч либо самих кабелей и проводов или устанавливать между ними несгораемые сплошные экраны с таким же пределом огнестойкости и т. п.

В межферменном пространстве с несущими металлическими конструкциями покрытий и горючим или трудногорючим утеплителем по одной трассе следует прокладывать не более 30 кабелей и проводов. Более 30 кабелей и проводов следует или делить на потоки с числом кабелей и проводов в каждом потоке до 30 и прокладывать их по разным трассам, изолированным в противопожарном отношении, или размещать все кабели и провода в закрытом кабельном сооружении. При этом при числе кабелей и проводов в любом потоке более 5 следует выполнять указанные противопожарные мероприятия, а при числе кабелей и проводов более 12 кроме выполнения указанных мероприятий следует предусматривать

автоматическое водяное пожаротушение кабелей и проводов данного потока.

Открытая прокладка кабелей и проводов, а также труб, коробов, гибких рукавов с проводами и кабелями в вентиляционных туннелях, каналах и шахтах, как правило, не допускается. Допускается их пересечение кабелями и проводами в стальных трубах, не имеющих в этом месте узлов соединений и расположенных в одной плоскости, параллельной продольной оси туннеля, канала или шахты.

Открытая прокладка кабелей и проводов в лестничных клетках, как правило, не допускается. Допускается открытая прокладка кабелей, предназначенных для освещения лестничных клеток и коридоров и защищенных от механических воздействий.

Открытая прокладка кабелей и проводов в общих пешеходных коридорах, используемых в качестве эвакуационных путей, не допускается (за исключением кабелей и проводов, предназначенных для освещения этих коридоров).

Открытая транзитная прокладка кабелей и проводов, а также труб, коробов и гибких рукавов с кабелями и проводами через складские помещения не допускается.

В наиболее загруженном поперечиом сечении производственного помещения, в том числе подвального или специально предназначенного для совместного размещения различного оборудования, допускается прокладывать открыто до 350 кабелей и проводов (в том числе до 200 силовых кабелей и проводов). Для прокладки большего числа кабелей и проводов следует предусматривать кабельные сооружения.

В подвальном помещении при аналогичной открытой прокладке более 50 кабелей и проводов (в том числе более 25 силовых кабелей и проводов) следует предусматривать дренчерную систему пожаротушения проложенных кабелей и проводов, оборудованную ручным приводом.

По технологическому оборудованию, его фундаментам и технологическим площадкам обслуживания кабели и провода, как правило, следует прокладывать в коробах со степенью защиты не ниже IP31, в металлических трубах и гибких рукавах.

Прокладку кабелей и проводов в крановых пролетах ниже подкрановых путей необходимо выполнять в зоне недосягаемости для повышенного груза при максимальном его отклонении от вертикали.

При открытой и скрытой прокладке труб с кабелями и проводами расстояния между трубами и между рядами труб не нормируются.

Прокладку кабелей и проводов в полу и междуэтажном перекрытии следует выполнять в каналах, трубах.

Прокладку кабелей и проводов за непроходными подвесными потолками следует выполнять:

за потолками из негорючих и трудногорючих материалов — в негорючих (например, стальных) и трудногорючих (например, непластифицированных поливинилхлоридных) трубах, в негорючих и трудногорючих коробах и гибких рукавах, а также непосредственно не распространяющими горение кабелями;

за потолками из горючих материалов — в негорючих трубах, коробах и гибких рукавах (например, стальных).

Прокладку кабелей и проводов в полостях сборных гипсокартонных перегородок, выполненных из негорючих и трудногорючих материалов, следует выполнять в негорючих и трудногорючих трубах, а также непосредственно не распространяющими горение кабелями.

Прокладку кабелей и проводов на чердаках следует выполнять:

открыто: кабелями, а также кабелями в трубах, коробах, гибких рукавах — на любой высоте; проводами в трубах, коробах, гибких рукавах — на любой высоте; проводами на роликах или изоляторах (на промышленных предприятиях только на изоляторах) — на высоте не менее 2,5 м от пола чердака; при уменьшении указанной высоты провода следует защищать от возможных механических воздействий;

скрыто: проводами и кабелями — замоноличенно (проводами и кабелями, специально предназначенными для такой прокладки) и незамоноличенно в строительных конструкциях (например, в замкнутых каналах и пустотах);

проводами и кабелями в трубах, гибких рукавах — замоноличенно и незамоноличенно в строительных конструкциях.

Открытую прокладку металлических труб с проводами в чердаках со строительными конструкциями из горючих материалов следует выполнять с учетом требований ПУЭ.

Ответвления от электрических линий, расположенных на чердаках, к электроприемникам, установленным вне чердака, допускаются при условии прокладки линий и ответвлений или в стальных трубах, или скрыто в конструкциях из негорючих материалов.

Коммутационные аппараты, относящиеся к электроприемникам, размещенным непосредственно на чердаках, следует устанавливать вне чердаков.

На участках, где могут быть пролиты расплавленный металл, жидкости с высокой температурой или вещества, разрушающе действующие на металлические оболочки кабе-

лей, сооружение кабельных каналов, а также устройство люков в туннелях не допускается.

2.15. ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ ВНЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

На промышленных предприятиях от воздействия прямой солнечной радиации следует защищать только кабели на напряжение 20 кВ и выше, прокладываемые открыто вне зданий и сооружений в районах географических широт ниже 65°.

Кабели и провода следует размещать на высоте в свету от уровня земли или дороги не менее: 5 м (для кабелей) и 6 м (для проводов) над проезжей частью; 2,5 м (для кабелей) и 3,5 м (для проводов) над непроезжей частью; 2,5 м (для кабелей) и 2,75 м (для проводов) — при прокладке по поверхностям конструкций.

Расстояния в свету от проводов и кабелей, проложенных по стенам, до мест возможного пребывания людей должно быть не менее:

при горизонтальной прокладке:

2,5 м — над полом балкона или крыльца, над крышей; 0,5 м — над окном; 1 м — под балконом, окном;

при вертикальной прокладке:

1 м — до балкона; 0,75 м — до окна.

При прокладке проводов и кабелей в металлических трубах, неперфорированных коробах и гибких рукавах указанные расстояния не нормируются.

Расстояния в свету от проводов и кабелей, проложенных по опорам параллельно зданиям и сооружениям, до балконов, лестниц и окон должны быть не менее 1,5 м (с учетом их максимального отклонения).

На территории предприятий в местах, доступных только для квалифицированного обслуживающего персонала, разрешается прокладка кабелей и проводов на специальных кабельных опорах на высоте в свету от уровня земли 0,4 м и выше.

Расстояния между осями проводов, проложенных на опорах и кабельных конструкциях, должны быть не менее:

0,1 м — при расстоянии между опорами или кабельными конструкциями до 6 м;

0,15 м — при расстоянии между опорами или кабельными конструкциями более 6 м.

Расстояния от проводов до стен, опор и кабельных конструкций должны быть не менее 0,05 м.

Расстояния между проводами у изоляторов ввода и от проводов до выступающих элементов зданий и сооружений (например, до выступающих частей крыши) должны быть не менее 0,2 м.

Сквозь кровли допускается выполнять проход кабелей и проводов на напряжение до 1 кВ с сечением до 16 мм^2 (для цепей освещения — до 25 мм^2) в стальных трубах; при этом вертикальное расстояние от кабелей и проводов до кровли должно быть не менее 2,5 м. Допускается уменьшать это расстояние до 0,5 м при вводе в здания, на кровле которых пребывание неквалифицированного обслуживающего персонала маловероятно (например, торговые павильоны, киоски, фургоны, передвижные будки, здания контейнерного типа и т. п.); при этом расстояние до уровня земли должно быть не менее 2,5 м от кабелей и 2,75 м — от проводов.

2.16. ШИНОПРОВОДЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Шинопроводы общепромышленного назначения подразделяют на:

магистральные переменного тока, предназначенные для выполнения в производственных помещениях магистральных четырехпроводных электрических сетей с заземленной нейтралью напряжением до 660 В, частотой 50—60 Гц;

магистральные постоянного тока, предназначенные для выполнения электрических соединений источников питания — машинных или статических преобразователей — с электродвигателями главных приводов прокатных станков и других механизмов, а также для выполнения электрических сетей установок общего назначения напряжением до 1200 В;

распределительные переменного тока, предназначенные для выполнения внутри помещений распределительных электрических сетей с заземленной нейтралью напряжением 380/220 В, частотой 50—60 Гц;

осветительные, предназначенные для выполнения в производственных помещениях осветительных двухпроводных и четырехпроводных электрических сетей, а также для питания электрифицированного ручного инструмента и других электроприемников небольшой мощности;

троллейные, предназначенные для выполнения в производственных помещениях (только в цехах, не содержащих токопроводящую пыль, и там, где имеется опасность повреждения открыто проложенных троллеев или прикосновения к ним) троллейных линий в сетях трехфазного переменного тока напряжением 660 В, частотой 50—60 Гц, питающих мостовые краны, электротали, передаточные тележки и др. (подключение электрифициро-

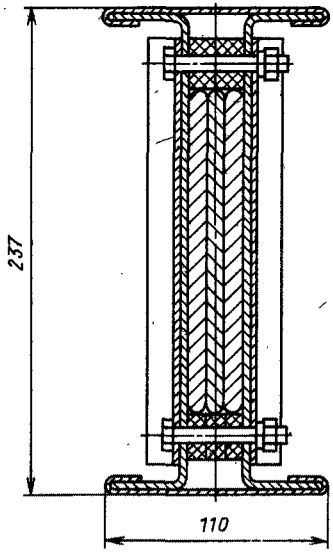


Рис. 2.4. Поперечное сечение магистральных шинопроводов ШМА4 на 1250 и 1600 А

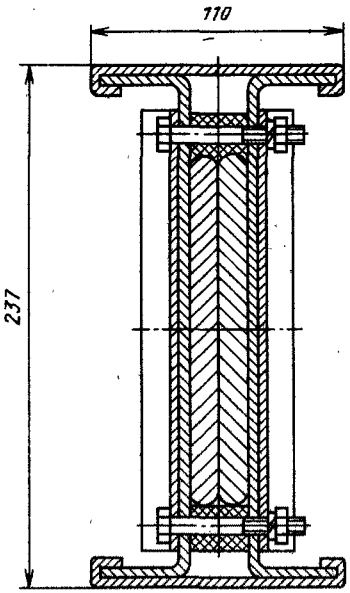


Рис. 2.7. Поперечное сечение магистральных шниопроводов ШМАД-1600-44-1У3 и ШМАД-2500-44-1У3

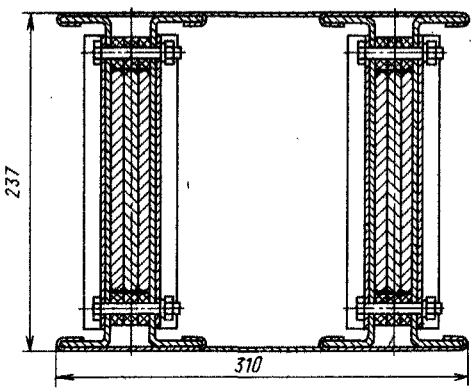


Рис. 2.5. Поперечное сечение магистральных шинопроводов ШМА4 на 2500 и 3200 А

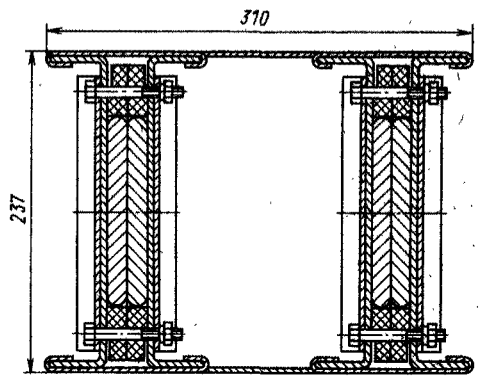


Рис. 2.8. Поперечное сечение магистральных шинопроводов ШМАД-3200-44-1У3 и ШМАД-5000-44-1У3

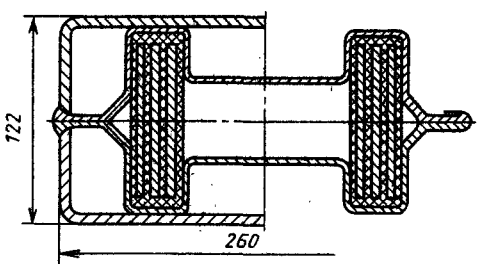


Рис. 2.6. Поперечное сечение магистрального шинопровода ШЗМ16

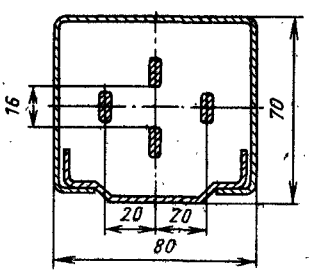


Рис. 2.9. Поперечное сечение распределительного шинопровода ШРА4-100-44-1У3

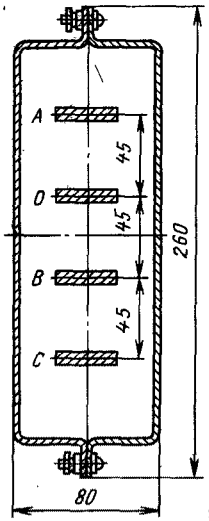


Рис. 2.10. Поперечное сечение распределительного шинопровода ШРА4-250-32-1У3

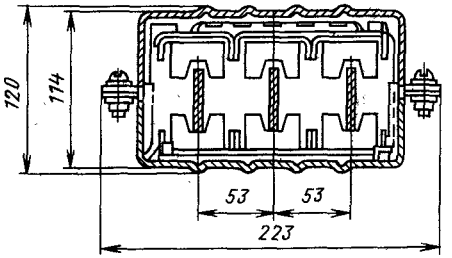


Рис. 2.12. Поперечное сечение распределительного шинопровода ШРА-УУ3

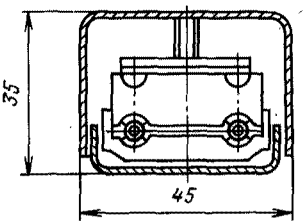


Рис. 2.13. Поперечное сечение осветительного шинопровода ШОС2-25-44-1У3

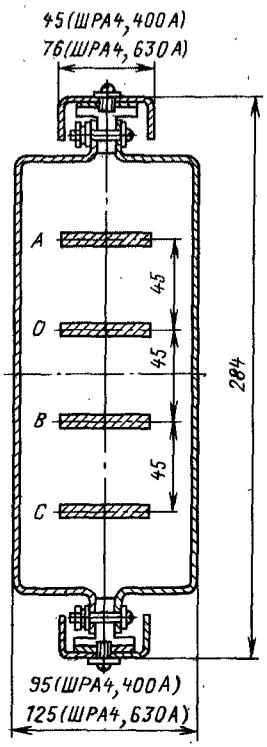


Рис. 2.11. Поперечное сечение распределительных шинопроводов ШРА4-400-32-1У3 и ШРА4-630-32-1У3

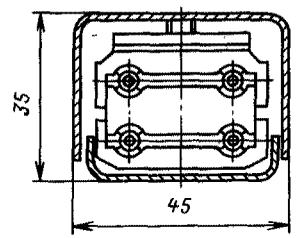


Рис. 2.14. Поперечное сечение осветительного шинопровода ШОС4-25-44-1У3

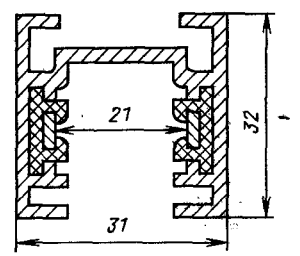


Рис. 2.15. Поперечное сечение осветительного шинопровода ШОС80-У3

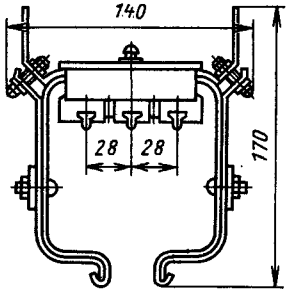


Рис. 2.16. Поперечное сечение троллейного шинопровода ШТМ73У3

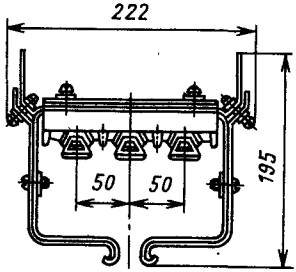


Рис. 2.17. Поперечное сечение троллейного шинопровода ШТМ72У3

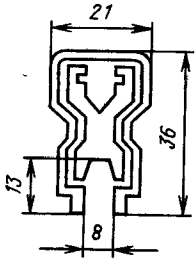


Рис. 2.18. Поперечное сечение троллейного шинопровода ШТМ-АУ2 на 250 А

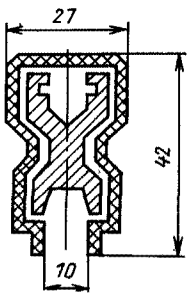


Рис. 2.19. Поперечное сечение троллейного шинопровода ШТМ-АУ2 на 400 А

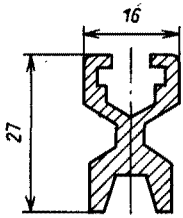


Рис. 2.20. Поперечное сечение троллейного шиинопровода ШТМ-АОУ2 на 250 А

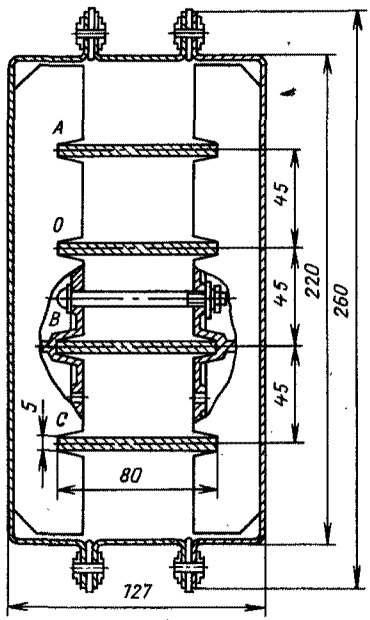


Рис. 2.22. Поперечное сечение распределительного шинопровода ШРПУ3 на 630 А

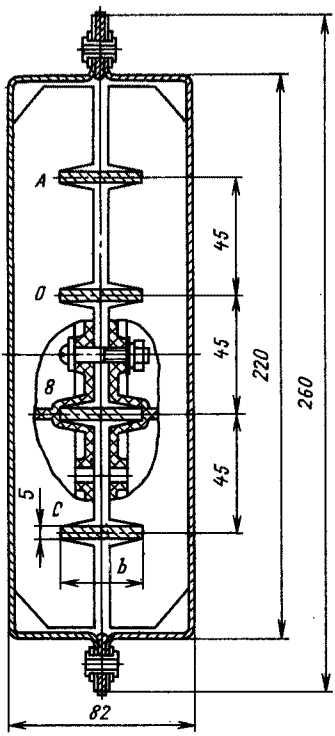


Рис. 2.21. Поперечное сечение распределнтельных шиинопроводов ШРПУ3 на 250 и 400 А

Номиниальиый ток шиинопровода, А	Размер, мм
	b
250	35
400	50

ванных инструмеитов к трехпроводиым шиопроводам иедопустимо);

распределительные, предиазиачеиные для вертикальиой прокладки виутри общественных и административных зданий повышеиной этажности;

распределительные пылезащитные, предиазиачеиные для выполиеиия распределительиых электрических сетей переменного тока с глухозаземлеиной иейтралью в помещениях с пыльной средой (в том числе в пожароопасиых зонах класса П-II и П-IIа), характеризуемой тем, что пыль во взвешеином состоянии ие образует взрывоопасные смеси.

Осиовные технические даиные шинопроводов приведены в табл. 2.43—2.49, типы конструкций для креплеиий — в табл. 2.50, а поперечные сечеиия приведеиы на рис. 2.4—2.22.

Шинопровод распределительный ШРА73ВУ3 предиазиачеи для выполнения вертикальиых участков распределительных четырехпроводиых электрических сетей с глухозаземлеиной нейтралью виутри общественных и адмииистративиых зданий повышеиной этажиости. При иеобходимости вертикально проложеиный шинопровод может иметь горизонтальные участки.

Шинопровод является модификацией шиопровода ШРА73У3 на 400 А и аналогичеи ему по конструкции и техническим данным.

Межэтажиая секция шиопровода имеет жесткое соединеиие шии с корпусом шинопровода и снабжена нагревостойкими перегородками, предиазначеиными для предотвращеиия при пожаре распространеиия пламени с этажа иа этаж.

Таблица 2.43. **Основные технические данные шинопроводов магистральных переменного тока типов ШМА4 и ШЗМ16**

Показатели	Для шиопроводов				
	ШМА4*1				ШЗМ16
Номинальиый ток, А	1250*2	1600*3	2500*4	3200*5	1600
Номиналыное иапряжеиие, В	660	660	660	660	660
Допустимое амплитудное значение тока короткого замыкания в первый полупериод, кА:					
для присоединительных секций	90	100	100	120	80
для остальных секций	70	70	70	70	—
Сопротивление фазы (среднее) при номиналыном токе и устаиовившемся режиме, Ом/км:					
активное	0,0338	0,0297	0,0169	0,15	0,014
индуктивное	0,0163	0,0143	0,0082	0,0072	0,059
полное	0,0419	0,033	0,021	0,017	—
Полное сопротивление петли «фаза—нуль», Ом/км	0,0862	0,0872	0,0822	0,053	0,07
Линейиая потеря иапряжения, В, иа длиие 100 м при иоминалыном токе, иагрузке, сосредоточеиной в конце лииии, и $\cos\varphi=0{,}8$	8,93	9,13	9,7	9,0	—
Количество и сечение, мм, шин иа фазу	1(8×140)	1(8×160)	2(8×140)	2(8×160)	2(10×100)
Степеиь защиты по ГОСТ 14254—80*	IP44	IP44	IP44	IP44	IP31
Вид климатического исполнения по ГОСТ 15150—69*	У3, Т3	У3, Т3	У3, Т3	У3, Т3	У3
Номер рисунка поперечного сечения шиопровода	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6

*1 *Допускается применение в пожароопасных помещениях классов П-I, П-II, П-IIа, а также в помещениях с пыльной средой.*

Шиопроводы ШМА4 на 1250 А и 1600 А выпускаются с 1988 г., а шинопроводов на 2500 А и 3200 А — с 1989 г.

В пожароопасиых зонах класса П-I максимальиый допустимый ток:

*2 800 А,

*3 1000 А,

*4 1600 А,

*5 2000 А.

Таблица 2.44. **Основные технические данные шинопроводов магистральных постоянного тока**

Показатели	Для шинопроводов			
	ШМАД-1600-44-1У3*	ШМАД-2500-44-1У3*[1]	ШМАД-3200-44-1У3*[2]	ШМАД-5000-44-1У3*[2]
Номинальный ток, А	1600	2500	3200	5000
Номинальное напряжение, В	1200	1200	1200	1200
Электродинамическая стойкость, кА	40	60	80	100
Потеря напряжения на длине 100 м при номинальном токе, В	4,9	4,5	5,1	4,7
Количество и сечение шин на полюс, мм	1(8×140)	1(12×160)	2(8×140)	2(12×160)
Степень защиты по ГОСТ 14254—80*	IP44	IP44	IP44	IP44
Номер рисунка поперечного сечения шинопровода	2.7	2.7	2.8	2.8

*[1] Выпускаются с 1988 г,
*[2] Выпускаются с 1989 г.

Таблица 2.45. **Основные технические данные распределительных шинопроводов**

Показатели	Для шинопроводов						
	ШРА4-100-44-1У3	ШРА4-250-32-1У3	ШРА4-400-32-1У3	ШРА4-630-32-1У3	ШРА-УУ3		
Номинальный ток, А	100	250	400	630	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	660	660	660	380*	380*	380*
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	7	15	25	35	10	15	25
Сопротивление на фазу, Ом/км:							
активное	—	0,21	0,15	0,10	0,20	0,128	0,066
индуктивное	—	0,21	0,17	0,13	0,134	0,113	0,093
полное	—	0,24	0,16	0,11	—	—	—
Линейная потеря напряжения на 100 м при равномерно распределениой нагрузке и $\cos\varphi=0{,}8$, В	—	6,5	8,0	8,5	—	—	—
Сечение шин, мм	3,55×11,2	35×5	50×5	80×5	30×5	50×5	60×8
Степень защиты по ГОСТ 14254—80*	IP44	IP44	IP44	IP44	IP35	IP31	IP31
Номер рисунка поперечного сечения шинопровода	2.9	2.10	2.11	2.11	2.12	2.12	2.12

* Допускается использовать в сетях с заземленной нейтралью на напряжение 380/220 В при прокладке на месте монтажа четвертой шины, электрически связанной с оболочкой шинопровода и имеющей необходимые сечения и проводимость.

Таблица 2.46. **Основные технические данные осветительных шинопроводов**

Показатели	Для шинопроводов		
	ШОС2-25-44-1У3	ШОС4-25-44-1У3	ШОС80-У3
Номинальный ток, А	25	25	16
Номинальное напряжение, В	220	380/220	220
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	3	3	3
Номинальный ток штепселя	10	10	6
Степень защиты по ГОСТ 14254—80*	IP44	IP44	IP20
Номер рисунка поперечного сечения шинопровода	2.13	2.14	2.15

Таблица 2.47. **Основные технические данные троллейных шинопроводов**

Показатели	Для шинопроводов*						
	ШТМ73У3	ШТМ72У3	ШТР4-100-42-1У3	ШМТ-АУ2		ШМТ-АОУ2	
Номинальный ток, А	250	400	100	250	400	250	400
Номинальное напряжение, В	660	660	660	660	660	660	660
Номинальный ток, А:							
токосъемной каретки	25	100	16	40	—	40	—
спаренной токосъемной каретки	50	200	25	—	63	—	100
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	10	15	5	10	15	10	15
Сопротивление фазы, Ом/км:							
активное	0,315	0,197	—	—	—	—	—
индуктивное	0,180	0,120	—	—	—	—	—
полное	0,360	0,230	—	—	—	—	—
Степень защиты по ГОСТ 14254—80*	IP12	IP12	IP41; IP20— со стороны щели для прохода каретки	IP21	IP21	IP00	IP00
Номер рисунка поперечного сечения шинопровода	2.16	2.17	—	2.18	2.19	2.20	—

* Шинопроводы типов ШТМ73У3, ШТМ72У3, ШТР4 изготовляются с медными троллеями и по ставляются при надлежащем обосновании.

Шинопроводы типов ШМТ-АУ2 и ШМТ-АОУ2 изготовляются с алюминиевыми троллеями из сплав АД31-Т1.

Шинопроводы не предназначены для эксплуатации в химически активных средах и взрывоопасны зонах.

Таблица 2.48. **Основные технические данные шинопровода распределительного для вертикальной прокладки серии ШРА73ВУ3**

Показатели	Значения
Номинальный ток, А	400 (при вертикальной прокладке может быть снижен на 10—15 % по условиям допустимого нагрева)
Номинальное напряжение, В	380/220
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	25
Сопротивление на фазу, Ом/км:	
активное	0,15
индуктивное	0,17
полное	0,16
Сечение шин, мм	50×5
Компенсация температурного удлинения шин в пределах этажа здания, мм	До 6
Высота этажа здания, м	2,25—6 и выше
Степень защиты по ГОСТ 14254—80*	IP32

Таблица 2.49. **Основные технические данные шинопровода распределительного пылезащищенного серии ШРПУ3**

Показатели	Значения		
Номинальный ток, А	250	400	630
Номинальное напряжение, В	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	10	15	25
Сопротивление на фазу, Ом/км:			
активное	0,21	0,13	0,08
индуктивное	0,21	0,15	0,11
полное	0,30	0,20	0,14
Линейная потеря напряжения на 100 м при $\cos\varphi=0{,}8$, В	12,9	15,9	17,9
Сечение шин, мм	35×5	50×5	80×
Степень защиты по ГОСТ 14254—80*	IP54	IP54	IP5
Номер рисунка поперечного сечения шинопроводов	2.21	2.21	2.2

Таблица 2.50. **Конструкции для крепления шинопроводов**

Шинопровод			Тип конструкций для крепления шинопровода					
Назначение	Тип	Номинальный ток, А	Кронштейн	Стойка	Подвес тросовый	Хомут, крюк, закреп	Подвеска, троллеедержатель	Межэтажная секция
Магистральный	ШМА4	1250, 1600	У3391У3	У3392У3	У3393У3	—	—	—
	ШМАД	1600, 2500		У3394У3				
	ШМА4	2500, 3200	У3491У3	У3492У3	У3493У3	—	—	—
	ШМАД	3200, 5000		У3494У3				
	ШЗМ16У3	1600	СШ-3У3	КШ-3У3	ПШ1У3	—	—	—
Распределительный	ШРА4-100	100	У2893М	У2892М	У2894М У2895М	—	—	—
	ШРА4 ШРПУ3	250, 400, 630	У2081М	У2084М	У2080М1 У2080М2	—	—	—
	ШРА73ВУ3	400	—	—	—	—	—	У2915У3
	ШРА-УУ3	250, 400, 630	КШ-1У3	СШ-1У3	ПШ-1У3	—	—	—
Осветительный	ШОС2 ШОС4	25	К474М	—	—	К470М К544М	—	—
	ШОС80У3	16	У1924У3	—	—	У1922У3 У1925У3	—	—

2.17. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ И ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОНАХ

1. **Электрические сети во взрывоопасных зонах** всех классов должны выполняться изолированными проводниками. Применять голые (неизолированные) проводники запрещается. Это запрещение относится также и к троллеям всех видов для кранов, талей и т. п.

В зонах классов В-I и В-Iа должны применяться проводники с медными жилами; в зонах классов В-Iб, В-Iг, В-II и В-IIа могут применяться проводники с алюминиевыми жилами.

Во взрывоопасных зонах всех классов могут применяться провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией и кабели с бумажной, резиновой и поливинилхлоридной изоляцией в металлической, поливинилхлоридной и резиновых оболочках. Кабели в алюминиевой оболочке в зонах классов В-I и В-Iа применять запрещается, в зонах классов В-Iб, В-Iг, В-II и В-IIа — допускается.

Провода и кабели с полиэтиленовой изоляцией или оболочкой во взрывоопасных зонах всех классов применять запрещается.

2. Через взрывоопасные зоны любого класса, а также на расстояниях менее 5 м по горизонтали и вертикали от взрывоопасной зоны запрещается прокладывать не относящиеся к данному технологическому процессу (производству) транзитные электропроводки и кабельные линии всех напряжений. Допускается их прокладка на расстоянии менее 5 м по горизонтали и вертикали от взрывоопасной зоны при выполнении дополнительных защитных мероприятий, например прокладка в трубах, в закрытых коробах, в полах.

3. В осветительных сетях помещений с взрывоопасными зонами класса В-I разрешается прокладывать только ответвления от групповых линий. Прокладка самих групповых линий в зонах класса В-I запрещается.

В помещениях со взрывоопасными зонами классов В-Iа, В-Iб, В-II и В-IIа рекомендуется групповые линии осветительной сети прокладывать вне взрывоопасных зон. В случае затруднений в выполнении этой рекомендации их прокладывают в зонах В-Iа, В-Iб, В-II и В-IIа, но при этом количество соединительных и ответвительных коробок, устанавливаемых внутри взрывоопасных зон, должно быть по возможности минимальным.

4. Гибкий токоподвод до 1 кВ (в том числе токоподвод к электрическим кранам, тельферам и другим передвижным механизмам), расположенный во взрывоопасной зоне всех классов, должен выполняться переносным гибким кабелем с медными жилами, с резиновой изоляцией, в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение марки КГН.

5. Шинопроводы во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iг, В-II и В-IIа применять запрещается.

В зонах классов В-Iа и В-Iб применение шинопроводов допускается при выполнении следующих условий:

а) шины должны быть изолированы;

б) во взрывоопасных зонах класса В-Iа шины должны быть медными;

в) неразъемные соединения шин должны быть выполнены сваркой или опрессовкой;

г) болтовые соединения (например, в местах присоединения шин к аппаратам и между секциями) должны иметь приспособления, не допускающие самоотвинчивания;

д) шинопроводы должны быть защищены металлическими кожухами, обеспечивающими степень защиты не менее IP31. Кожухи должны открываться только при помощи специальных (торцевых) ключей.

6. Сечение проводников во взрывоопасных зонах всех классов в сетях напряжением до 1 кВ выбирают по допустимым длительным токам нагрузки, значения которых определяют в зависимости от вида защитного аппарата (табл. 2.51). Выбранное сечение не должно быть меньше, чем это требуется по расчетному току. Сечения ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором должны выбираться с таким расчетом, чтобы они допускали нагрузку не менее 125 % номинального тока электродвигателя.

7. Проводники силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях напряжением до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа, В-II и В-IIа должны быть защищены от перегрузок и коротких замыканий. В зонах классов В-Iб и В-Iг защита проводников выполняется так, как для невзрывоопасных зон.

В двухпроводных цепях с рабочим нулевым проводником (например, в осветительных сетях напряжением 380—220 В), прокладываемых в зонах класса В-I, защищают от токов короткого замыкания как фазный, так и рабочий нулевой проводник. Для одновременного отключения фазного и рабочего нулевого проводников должны применяться двухполюсные выключатели.

Защита от перегрузки питающих линий и присоединенных к ним электроприемников в сетях напряжением выше 1 кВ в зонах всех классов выполняется во всех случаях независимо от мощности электроприемников.

Провода и кабели в сетях напряжением выше 1 кВ во взрывоопасных зонах всех классов должны быть проверены по нагреву токами короткого замыкания.

Таблица 2.51. **Допустимый длительный ток нагрузки проводов и кабелей в зависимости от вида защитного аппарата**

Защитный аппарат	Допустимый длительный ток	
	проводов и кабелей с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией	кабелей с бумажной изоляцией
Предохранитель с плавкой вставкой	125 % номинального тока плавкой вставки	100 % номинального тока плавкой вставки
Автоматический выключатель с максимальным мгновенным расцепителем	125 % тока трогания расцепителя	100 % тока трогання расцепителя
Автоматический выключатель с нерегулируемой обратно зависнмой от тока характеристикой	100 % тока трогания расцепителя	100 % тока трогания расцепителя
Автоматический выключатель с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой	100 % тока трогания расцепнтеля	80 % тока трогания расцепителя

8. При выполнении электропроводок в стальных трубах провода должны вводиться в машину, аппарат или светильник вместе с трубой, запрещается ввод трубных проводов в машиину, аппарат или светильник, если их вводиые устройства предназначены только для ввода кабеля.

В трубе на вводе устанавливают разделительное уплотнение из уплотнительиой пасты, ограничивающее распространение взрыва по трубопроводу при воспламенении взрывоопасных смесей, проникших извне в машину, аппарат или светнльник. Если в коиструкции вводного устройства такое уплотнеиие уже предусмотрено, дополнительного уплотиения устанавливать не требуется.

В целях ограничения распространения по трубопроводу взрыва попавших туда и воспламенившихся взрывоопасных смесей и недопущения передачи взрыва в соседние помещения во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Iа при переходе труб электропроводки из взрывоопасиого помещения в невзрывоопасное, а также во взрывоопасиое другого класса или с другой категорией или группой взрывоопасной смеси или иаружу в местах перехода труб через стену (со стороны более высокого класса взрывоопасной зоны или более высоких категорий или группы взрывоопасиой смеси) устаиавливают разделительные уплотнения.

Разделительиые уплотнения выполняют в коробках, предиазначенных для этой цели. Использовать коробки, иё предиазиачеиные для разделительных уплотнеиий (например, соединительные или осветительные), запрещается.

Во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-II и В-IIа установка разделительных уплотнений не требуется.

Разделительные уплотнения устанавливаются:

а) вблизи от места входа трубы во взрывоопасную зону;

б) при переходе трубы из взрывоопасной зоны одного класса во взрывоопасную зону другого класса — в помещении взрывоопасной зоиы более высокого класса;

в) при переходе трубы из одной взрывоопасной зоны в другую такого же класса — в помещении взрывоопасной зоны с более высокими категорией и группой взрывоопасной смеси.

Допускается установка разделительных уплотнеиий со стороиы иевзрывоопасной зоиы или снаружи, еслн во взрывоопасной зоне установка разделительных уплотнений невозможна.

Разделительные уплотиения, устаиовлеиные в трубах электропроводки, должны испытываться избыточным давленнем воздуха 250 кПа в течёние 3 мин. При этом допускается падение давления не более чем до 200 кПа.

9. Длину кабелей, прокладываемых во взрывоопасных зоиах в сетях напряжеиием выше 1 кВ, по возможности ограничивают.

Кабели в сетях всех напряжеиий, прокладываемые во взрывоопасных зоиах открыто (на кабельиых конструкциях, в каналах, на эстакадах), не должны иметь наружного покрова из горючих материалов (джута, битума, хлопчатобумажиой оплетки).

10. Во взрывоопасиых зоиах всех классов устанавливать соединительные и ответвительные кабельные муфты запрещается, за исключением искробезопасных цепей. Ввод кабелей в электрические машиины и аппараты должен выполииться через имеющиеся в них вводные устройства. Места вводов уплотняют.

Для машин большой мощиости, в которых не предусмотрены вводиые устройства, допус-

кается в зонах классов В-Iа и В-IIа концевые заделки устанавливать в закрытых шкафах со степенью защиты IP54. Шкафы располагают в местах, доступных лишь для обслуживающего персонала (например, в фундаментной яме машины).

11. Отверстия в полу, перекрытиях, в стенах и т. п. для прохода кабелей и труб с проводами и кабелями должны быть плотно заделаны несгораемыми материалами.

12. Способы выполнения электрических сетей во взрывоопасных зонах в зависимости от их класса приведены в табл. 2.52.

13. Наружную прокладку кабелей по территории предприятия между взрывоопасными зонами рекомендуется выполнять открыто — на кабельных или технологических эстакадах, по стенам зданий, на тросах, избегая по возможности подземной прокладки (в каналах, траншеях, блоках, туннелях).

Допустимые расстояния от кабельных эстакад до помещений со взрывоопасными зонами и до наружных взрывоопасных установок с транзитными кабелями приведены в табл. 2.53; с кабелями, предназначенными только для данного производства (здания), не нормируются.

Торцы ответвлений от кабельных эстакад для подвода кабелей к помещениям со взрывоопасными зонами или к наружным взрывоопасным установкам могут примыкать непосредственно к стенам помещений со взрывоопасными зонами и к наружным взрывоопасным установкам. Пожарный проезд для кабельных эстакад допускается предусматривать с одной стороны эстакады.

14. В случае технической целесообразности (например, при совпадении трассы) допускается использовать технологические эстакады с трубопроводами (для горючих жидкостей и газов) для прокладки на них электротехнических коммуникаций.

По эстакадам с трубопроводами с горючими газами и ЛВЖ помимо кабелей, предназначенных для собственных нужд (для управления задвижками трубопроводов, сигнализации, диспетчеризации и т. п.), допускается прокладывать до 30 бронированных и небронированных силовых и контрольных кабелей, стальных водогазопроводных труб с изолированными проводами.

Небронированные кабели должны прокладываться в стальных водогазопроводных трубах или в стальных коробах.

Таблица 2.52. **Допустимые способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах**

Кабели и провода	Способ прокладки	Сети выше 1 кВ	Силовые сети и вторичные цепи до 1 кВ	Осветительные сети до 380 В
Бронированные кабели	Открыто — по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях, в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах; в каналах; скрыто — в земле (траншеях), в блоках	В зонах любого класса		
Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках	Открыто — при отсутствии механических и химических воздействий; по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в лотках, на тросах	В-Iб, В-IIа, В-Iг	В-Iб, В-IIа, В-Iг	В-Iб, В-Iб, В-IIа, В-Iг
	В каналах пылеуплотненных (например, покрытых асфальтом) или засыпанных песком	В-II, В-IIа	В-II, В-IIа	В-II, В-IIа
	Открыто — в коробах	В-Iб, В-Iг	В-Iа, В-Iб, В-Iг	В-Iа, В-Iб, В-Iг
	Открыто и скрыто — в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса		
Изолированные провода	Открыто и скрыто — в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса		

Примечание. Для искробезопасных цепей во взрывоопасных зонах любого класса разрешаются все перечисленные в таблице способы прокладки проводов и кабелей.

Таблица 2.53. **Минимально допустимое расстояние от токопроводов (гибких и жестких) и от кабельных эстакад с транзитными кабелями до помещений со взрывоопасными зонами и до наружных взрывоопасных установок**

Помещения со взрывоопасными зонами и наружные взрывоопасные установки, до которых определяется расстояние	Расстояние, м	
	от токопроводов	от кабельных эстакад
С тяжелыми или сжиженными горючими газами		
Помещения, которые имеют несгораемую стену (без проемов и устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции) в сторону токопроводов и кабельных эстакад	10	Не нормируется
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад стеной с проемами	20	9
Наружные взрывоопасные установки, устаиовки, расположенные у стен зданий (в том числе емкости)	30	9
Резервуары (газгольдеры)	50	20
С легкими горючими газами и ЛВЖ, с горючими пылью или волокнами		
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад несгораемой стеной без проемов и устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции	10 или 6 (см. примечания, п. 1)	Не нормируется
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад стеной с проемами	15	9 или 6 (см. примечаиия, п. 1)
Наружные взрывоопасные установки, установки, расположенные у стен зданий (в том числе емкости)	25	9
Сливно-наливные эстакады с закрытым сливом или наливом ЛВЖ	25	20
Резервуары (газгольдеры) с горючими газами	25	20

Примечания: 1. Минимально допустимые расстояния 6 м применяются до зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости со взрывоопасными производствами при соблюдении условий, оговоренных в СНиП по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

2. Расстояния, указанные в таблице, считаются от стен помещений со взрывоопасными зонами, от стенок резервуаров или от наиболее выступающих частей наружных установок.

Бронированные кабели следует применять в металлической, резиновой и поливинилхлоридной оболочках, не распространяющих горение. При этом стальные трубы электропроводки, стальные трубы и короба с небронированными кабелями и бронированные кабели следует прокладывать на расстояние не менее 0,5 м от трубопроводов, по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами.

При числе кабелей более 30 следует прокладывать их по кабельным эстакадам и галереям. Допускается сооружать кабельные эстакады и галереи на общих строительных конструкциях с трубопроводами с горючими газами и ЛВЖ при выполнении противопожарных мероприятий. Допускается прокладка небронированных кабелей (см. табл. 2.52).

15. На территории предприятий с наличием помещений и наружных установок со взрывоопасными зонами допускается сооружать открытые токопроводы до 1 кВ и выше на специально для этого предназначенных опорах или эстакадах.

Открытые токопроводы могут быть гибкими и жесткими.

Прокладывать открытые токопроводы на эстакадах с трубопроводами с горючими газами и ЛВЖ и эстакадах КИПиА запрещается.

Токопроводы до 10 кВ в оболочке со степенью защиты IP54 могут прокладываться по территории предприятия со взрывоопасными зонами на специальных эстакадах, эстакадах с трубопроводами с горючими газами и ЛВЖ и эстакадах КИПиА, если отсутствует возможность вредных наводок на цепи КИПиА от токопроводов. Токопроводы следует прокладывать на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов, по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами.

Минимально допустимые расстояния от токопроводов до помещений со взрывоопасными зонами и до наружных взрывоопасных установок приведены в табл. 2.53.

16. Сооружение кабельных туннелей на предприятиях с наличием взрывоопасных зон не рекомендуется. При необходимости кабель-

ные туннели могут сооружаться при выполнении следующих условий:

1) кабельные туннели должны прокладываться, как правило, вне взрывоопасных зон;

2) при подходе к взрывоопасным зонам кабельные туннели должны быть отделены от них несгораемой перегородкой с пределом огнестойкости 0,75 ч;

3) отверстия для кабелей и труб электропроводки, вводимых во взрывоопасную зону, должны быть плотно заделаны несгораемыми материалами;

4) в кабельных туннелях должны быть выполнены противопожарные мероприятия;

5) выходы из туннеля, а также выходы вентиляционных шахт туннеля должны находиться вне взрывоопасных зон.

Наружные кабельные каналы допускается сооружать на расстоянии не менее 1,5 м от стен помещений со взрывоопасными зонами всех классов. В месте входа во взрывоопасные зоны этих помещений каналы должны засыпаться песком по длине не менее 1,5 м.

В пожароопасных зонах любого класса кабели и провода должны иметь покров и оболочку из материалов, не распространяющих горение. Применение кабелей с горючей полиэтиленовой изоляцией не допускается.

В пожароопасных зонах любого класса применение неизолированных проводов запрещается.

Токоподвод подъемных механизмов (кранов, талей и т. п.) в пожароопасных зонах классов П-I и П-II должен выполняться переносным гибким кабелем с медными жилами, с резиновой изоляцией, в оболочке, стойкой к окружающей среде. В пожароопасных зонах классов П-IIа и П-III допускается применение троллеев и троллейных шинопроводов, но они не должны быть расположены над местами размещения горючих веществ.

В пожароопасных зонах классов П-I, П-II и П-IIа допускается применение шинопроводов до 1 кВ с медными и алюминиевыми шинами со степенью защиты IP20 и выше, при этом в пожароопасных зонах классов П-I и П-II все шины, в том числе и шины ответвления, должны быть изолированными. В шинопроводах со степенью защиты IP54 и выше шины допускается не изолировать.

Неразборные контактные соединения шин должны быть выполнены сваркой, а разборные соединения — с применением приспособлений для предотвращения самоотвинчивания.

Температура всех элементов шинопроводов, включая ответвительные коробки, устанавливаемые в пожароопасных зонах класса П-I, не должна превышать 60 °С.

3. В пожароопасных зонах любого класса разрешаются все виды прокладок кабелей и проводов. Расстояние от кабелей и изолированных проводов, прокладываемых открыто непосредственно по конструкциям, на изоляторах, лотках, тросах и т. п., до мест открыто хранимых (размещаемых) горючих веществ должно быть не менее 1 м (по горизонтали).

Прокладка незащищенных изолированных проводов с алюминиевыми жилами в пожароопасных зонах любого класса должна производиться в трубах и коробах.

По эстакадам с трубопроводами с горючими газами и жидкостями, проходящим по территории с пожароопасной зоной класса П-III, допускается прокладка изолированных проводов в стальных трубах, небронированных кабелей в стальных трубах и коробах, бронированных кабелей открыто. При этом стальные трубы электропроводки, стальные трубы и короба с небронированными кабелями и бронированные кабели следует прокладывать на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов, по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами.

Для передвижных электроприемников должны применяться переносные гибкие кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией, в оболочке, стойкой к окружающей среде.

4. Соединительные и ответвительные коробки, применяемые в электропроводках в пожароопасных зонах любого класса, должны иметь степень защиты оболочки не менее IP43. Они должны изготовляться из стали или другого прочного материала, а их размеры должны обеспечивать удобство монтажа и надежность соединения проводов.

Части коробок, выполненные из металла, должны иметь внутри изолирующую выкладку или надежную окраску. Пластмассовые части, кроме применяемых в групповой сети освещения, должны быть изготовлены из трудногорючей пластмассы.

Ответвительные коробки с коммутационными и защитными аппаратами, а также разъемные контактные соединения допускается применять в пожароопасных зонах всех классов. При этом ответвительные коробки, установленные на шинопроводах, включая места ввода кабелей (проводов) и места соприкосновения с шинопроводами, должны иметь степень защиты IP44 и выше для пожароопасных зон классов П-I и П-IIа, IP54 и выше для зон класса П-II.

В помещениях архивов, музеев, картинных галерей, библиотек, а также в пожароопасных зонах складских помещений запрещается применение разъемных контактных соединений, за исключением соединений во временных сетях при показе экспозиций.

5. Через пожароопасные зоны любого класса, а также на расстояниях менее 1 м по горизонтали и вертикали от пожароопасной зоны запрещается прокладывать не относящиеся к данному технологическому процессу (производству) транзитные электропроводки и кабельные линии всех напряжений.

Д. ЗАЩИТА СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

2.18. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Аппараты защиты. Отключающая способность защиты должна соответствовать реально возможным значениям токов КЗ в защищаемом участке сети.

При расчете тока КЗ необходимо возможно полнее учитывать все индуктивные и активные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи и активные сопротивления всех переходных контактов этой цепи (болтовые на шинах, вводные зажимы и разъемные контакты аппаратов, контакт в месте короткого замыкания). При отсутствии достоверных данных о числе и сопротивлении контактов в короткозамкнутой цепи рекомендуется их сопротивление учесть совокупно, путем введения в расчет следующего активного сопротивления, Ом:

при коротком замыкании на щите подстанции	0,015
на цеховых РП и на зажимах аппаратов, питаемых радиальными или магистральными линиями от щитов подстанций	0,02
на вторичных цеховых РП, как и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РП	0,025
на зажимах аппаратов, получающих питание от вторичных РП	0,03

Расчетные коэффициенты для определения ударного тока $k_{уд}$ и наибольшего действующего значения полного тока k могут быть приняты $k_{уд}=k=1$ во всех случаях, где ток КЗ подсчитан с учетом указанных выше значений сопротивления контактов в короткозамкнутой цепи.

Для промышленных предприятий и общественных зданий и сооружений, за исключением защиты сетей во взрывоопасных и пожароопасных зонах, допускается выбор аппаратов защиты по одноразовой предельной коммутационной способности (ОПКС), под которой подразумевается наибольший ток короткого замыкания, при котором выключатель способен коммутировать цепь безопасно для обслуживающего персонала, но после отключения которого пригодность выключателя к дальнейшей эксплуатации не гарантируется. При отсутствии иных заводских данных ОПКС для всех расцепителей, встраиваемых в данный выключатель, может быть принята равной предельной коммутационной способности выключателя с наибольшим из его расцепителей.

Плавкие предохранители при защите сетей должны устанавливаться во всех нормально незаземленных полюсах или фазах. Установка плавких предохранителей в нулевых проводниках запрещается.

При защите сетей автоматическими выключателями максимальные расцепители должны устанавливаться во всех нормально незаземленных полюсах или фазах.

При защите сетей с изолированной нейтралью в трехпроводных сетях трехфазного тока и двухпроводных сетях однофазного или постоянного тока допускается устанавливать максимальные расцепители автоматических выключателей в двух фазах при трехпроводных сетях и в одной фазе (полюсе) при двухпроводных. При этом в пределах одной и той же установки защиту следует осуществлять в одних и тех же полюсах или фазах.

Максимальные расцепители в нулевых и нейтральных проводниках допускается устанавливать лишь при условии, что при их срабатывании отключаются от сети одновременно все проводники данного присоединения.

Аппараты защиты допускается не устанавливать в местах:

снижения сечения питающей линии по ее длине и на ответвлениях от нее, если защита предыдущего участка линии удовлетворяет требованиям защиты участка со снижением сечением или (для сетей, не требующих защиты от перегрузки), если незащищенные участки линии или ответвления от нее выполнены проводниками с сечением не менее половины сечения проводников защищенного участка линии и прокладываются вне взрыво- и пожароопасных зон и кабельных сооружений;

ответвлений от питающей линии к силовым электроприемникам малой мощности и бытовым электроприборам, если питающая их линия защищена аппаратом с установкой не более 25 А;

присоединения к питающей линии проводников цепей управления, измерения и сигнали-

зации, если эти проводники не выходят за пределы машины или щита или за их пределами проложены в трубах или имеют негорючую оболочку;

ответвления проводников от шин щита к аппаратам, устаиовленным на том же щите.

Защита от токов короткого замыкания (табл. 2.54, 2.55) должиа действовать с минимальиым временем отключения и по возможиости селективно. Оиа должна надежно отключать любые внды КЗ в самых удаленных точках защищаемой линии, в том числе и замыкания на землю только одиой фазы или одного полюса, если нейтраль установки заземлена. При этом каждая вышележащая ступень защиты должна по возможности служить резервом на случай неисправности ближайшей нижележащей ступени, т. е. она должна отключать одио- и многофазные токи КЗ в конце линии, защищаемой нижележащей сту-

Таблица 2.54. **Характер требуемой защиты в зависимости от назначения сети и вида проводки**

Назначение сети	Вид проводки	Характер требуемой защиты
Сети всех назначений	Все виды проводок	Защита от токов КЗ
То же, но только внутри помещеиий	Проводка, выполненная открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или с горючей наружной изоляцией	Защита от токов КЗ и перегрузки
Осветительные сети, включая сети для стационарных электроплит, сети для бытовых и переиосных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т. п.) в жилых зданиях, в общественных зданиях и сооружениях, в служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, а также в пожароопасных зонах	Все виды проводок	То же
Силовые сети в жилых зданиях, в общественных зданиях и сооружениях, на промышленных предприятиях, в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возиикнуть длительная перегрузка проводиика	То же	» »
Сетн всех назначений в пожаро- и взрывоопасных зонах	» »	См. § 2.16

Таблица 2.55. **Предельно допустимое (не более) соотношение между уставкой $I_з$ аппарата защиты и допустимой длительной токовой нагрузкой $I_{доп}$ проводника, защищаемого от токов КЗ**

Тип защитного аппарата	$I_з$	$\frac{I_з \cdot 100}{I_{доп}}$, %
Плавкий предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	300
Автоматический выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку)	Ток уставки	450
Автоматический выключатель с обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	Ток срабатываиия расцепителя	125

Примечание. Повышение табличных иорм кратности допускается только в тех случаях, когда значение тока, полученное делением тока аппарата защиты $I_з$ на соответствующую кратиость тока, указанную в таблице, ие совпадает со шкалой допустимых токовых нагрузок проводников; в этом случае допускается выбор проводника ближайшего меньшего сечения, ио ие менее, чем это требуется по расчетному току.

пенью защиты, но с несколько большей выдержкой времени, достаточной для обеспечения селективности. Последнее достигается рациональной конструкцией схемы сетн, подбором сечений, длин отдельных участков и соответствующим выбором числа ступеней защиты.

Для снижения времени, обеспечення надежности и правильности действия защиты от токов КЗ необходимо во всех случаях выбирать номнпальные токи плавких вставок предохранителей и уставки автоматических выключателей по возможности минимальными, однако такимн, которые не отключали бы установку при нормальных для нее кратковременных перегрузках (пусковых токах, пиках техиологических нагрузок, токах при самозапуске и т. п.).

Если при этом уставки аппаратов защиты по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, выбранных по расчетному току линин, нмеют кратность не более, чем указана в табл. 2.55, допускается не делать расчетную проверку защиты на кратность тока КЗ. Еслн же требования табл. 2.55 не удовлетворяются, необходимо проверить надежность срабатывания защиты при КЗ расчетным путем.

Для надежного срабатывания защиты ток КЗ должен превышать: не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя; в 3 раза номинальный ток илн уставку тока расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику; в 1,1 раза максимальное (с учетом разброса по заводским данным) значеиие уставки тока мгновенного срабатывания, если автоматнческий выключатель имеет только электромагнитный расцепитель (отсечку).

Защита от перегрузки. В сетях, защища-

Таблица 2.56. **Предельно допустимое (не более) соотношение между уставкой $I_з$ аппарата защиты и допустимой длительиой токовой нагрузкой $I_{доп}$ проводника, защищаемого от перегрузки**

Вид и условия проводки, тип проводника	Тип защитного аппарата	$I_з$	$\frac{I_з \cdot 100}{I_{доп}}$, %
Проводники с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	Плавкий предохранитель	Номинальиый ток плавкой вставки	80
	Автоматический выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку)	Ток уставки	80
То же, но для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных зонах производственных помещений промышленных предприятий (допускается)	Плавкий предохраннтель	Номинальный ток плавкой вставки	100
	Автоматнческий выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку)	Ток уставки	100
Кабели с бумажной изоляцией	Плавкий предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	100
	Автоматическнй выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку)	Ток уставки	100
Проводники всех марок	Автоматнческий выключатель с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	Номннальный ток расцепителя	100
Проводники с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	Автоматический выключатель с регулируемой обратно зависнмой от тока характеристикой	Ток срабатывания расцепителя	100
Кабели с бумажной изоляцнеи и изоляцией из вулканизированного полиэтилена	То же	То же	125

емых от перегрузки (табл. 2.56), следует выбирать:

плавкие вставки предохранителей или расцепители автоматических выключателей по расчетному току линии по возможности минимальными и с учетом возможных пиков тока, чтобы они не отключали электроустановку при нормальных для нее кратковременных перегрузках (пусковых токах, пиках технологических нагрузок, токах при самозапуске и т. п.);

проводники таким образом, чтобы токи аппаратов защиты по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников имели кратность не более указанной в табл. 2.56. Во взрывоопасных зонах проводники ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором, кроме того, должны быть выбраны так, чтобы их длительно допустимая токовая нагрузка составляла не менее 125 % номинального тока электродвигателя.

Места расположения аппаратов защиты. Аппараты защиты следует устанавливать: в доступных для обслуживания местах, так чтобы была исключена возможность их случайных механических повреждений; во всех местах сети, где сечение проводника уменьшается (по направлению к месту потребления электроэнергии), а также в местах, где это необходимо для обеспечения чувствительности или селективности защиты. Их по возможности следует устанавливать непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. Длина незащищенного участка ответвления (от питающей линии до места установки аппарата защиты) в случаях необходимости может приниматься до 6 м. Сечение проводника на этом участке может быть меньше сечения питающей линии, но не менее, чем это требуется по расчетному току. Для ответвлений в труднодоступных местах, например на большой высоте, аппараты защиты допускается устанавливать на расстоянии до 30 м от точки ответвления в удобном для обслуживания месте, например на вводе в распределительный пункт, при этом пропускная способность проводников ответвления должна быть не менее расчетного тока и не менее 10 % пропускной способности защищаемого участка магистрали. Прокладка проводников ответвлений на указанных участках (до 6 и до 30 м) при горючих наружных оболочке или изоляции должна производиться в несгораемых трубах, коробах или металлорукавах. В остальных случаях прокладка может проводиться открыто. В кабельных сооружениях, пожароопасных и взрывоопасных зонах прокладка проводников таких ответвлений (до 6 и до 30 м) во всех случаях должна проводиться в несгораемых трубах, коробах или металлорукавах.

Установка аппаратов защиты во всех случаях должна быть выполнена так, чтобы при оперировании ими или при их автоматическом действии были исключены опасность для обслуживающего персонала и возможность повреждения оборудования.

Аппараты защиты с открытыми токоведущими частями должны быть доступны только квалифицированному персоналу.

Предохранители и автоматические выключатели пробочного типа должны включаться в сеть таким образом, чтобы при вывинченной пробке винтовая гильза оставалась без напряжения. Для этого защищаемый (отходящий) проводник должен быть присоединен к винтовой гильзе предохранителя (выключателя).

2.19. ВЫБОР УСТАВОК ЗАЩИТЫ

Требуемые уставки защиты необходимо определять с учетом возможных пиков технологических нагрузок и пусковых токов электродвигателей. Для установок, в которых неожиданное отключение электродвигателя во время его пуска может привести к авариям, порче оборудования или гибели людей, рекомендуется при выборе уставок для автоматических выключателей, имеющих расцепители мгновенного действия, определять пусковой ток с учетом его апериодической составляющей; с достаточной для практических целей точностью можно в этих случаях считать, что пусковой ток в 1,4—1,6 раза превышает значения, указанные в каталогах.

Указания по выбору уставок автоматических выключателей серий «Электрон», ВА62, А3700, АЕ2000, АЕ1000, ВА12, АП50Б, производство которых в ближайшие годы прекращается, приведены в [1.2, с. 151—155].

Плавкие предохранители. Номинальный ток требуемой плавкой вставки предохранителей определяется:

по условиям нагрева:

$$I_н \geqslant I_р; \qquad (2.20)$$

по условиям перегрузок пусковыми токами:

$$I_п \leqslant 0{,}5 I_{пл}; \qquad (2.21)$$

по условиям селективности $(0{,}75 \div 0{,}5)\, t_б > (1{,}25 \div 1{,}5)\, t_м$, откуда

$$t_б > (1{,}7 \div 3)\, t_м, \qquad (2.22)$$

где $I_р$ — расчетный ток линии; $I_п$ — пик тока пусковой ток в линии; $I_{пл}$ — ток, способный

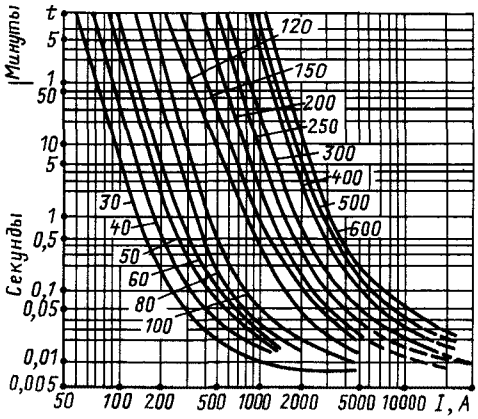


Рис. 2.23. Семейство защитных характеристик плавких вставок предохранителей серии ПН2. На кривых обозначены номинальные токи плавких вставок. Наибольшие мгновенные значения тока КЗ, пропускаемого предохранителями ПН2-100 и ПН2-250, равны примерно 5 кА. Плавкие вставки 200 и 250 А предохранителя ПН2-400 пропускают бо́льшие токи

расплавить вставку за время, равное продолжительности $I_п$; $t_б$ и $t_м$ — время плавления (определенное по защитным характеристикам) большей и меньшей плавких вставок при токе КЗ.

Ток $I_{пл}$ определяется по защитным характеристикам рис. 2.23.

В табл. 2.57 приведены данные расчетов по (2.22) при соотношении $t_б > 3t_м$, соответствующем условию наихудшего сочетания наибольших возможных отклонений действительных характеристик и при соотношении $t_б > 1{,}7t_м$, соответствующем условию наихудшего сочетания средних отклонений.

Вместо (2.21) в проектной практике обычно выбирают плавкую вставку по (2.23), (2.24) и (2.25) в следующих случаях:

для защиты ответвлений к одиночным двигателям при редких и легких пусках

$$I_н = \frac{I_п}{2{,}5}; \qquad (2.23)$$

при частых и продолжительных (тяжелых) пусках, например двигателей кранов и других механизмов повторно-кратковременного режима работы или механизмов с большим моментом инерции и большим моментом сопротивления, например центрифуг,

$$I_н = \frac{I_п}{(1{,}6 \div 2{,}0)}; \qquad (2.24)$$

для защиты линий, питающих более одного двигателя, если известны расчетный ток линий $I_р$ и пусковой ток $I_п$ того двигателя,

Таблица 2.57. **Номинальные токи последовательно включенных плавких вставок предохранителей ПН2**

$I_{в.м}$, А	$I_{в.б}$, А, при $I_к/I_{в.м}$				
	10	20	50	100	150 и более
Особо надежная селективность					
30	50	60	120	150	200
40	60	80	120	200	200
50	80	100	120	250	250
60	100	120	150	250	250
80	120	120	200	250	250
100	120	120—150	250	250	250
120	150	200	300	300	300
150	200	250	300	300	300
200	250	300	400	400	400
250	300	400	600	Более 600	Более 600
300	400	500	Более 600	—	—
400	600	Более 600	—	—	—
Надежная селективность					
30	40		50	80	120
40	50		60	100	120
50	60		80	120	120
60	80		100	120	120
80	100		120	120	150
100	120		120	150	150
120	150		150	250	250
150	200		200	250	250
200	250		250	300	300
250	300		300	400	Более 600
300	400		400	Более 600	—
400	500		Более 600	—	—

Обозначения: $I_{в.б}$ — номинальный ток большей вставки (защищающей магистраль), А; $I_{в.м}$ — то же меньшей вставки (защищающей ответвление), А; $I_к$ — ток короткого замыкания в ответвлении, А.

у которого он наибольший,

$$I_н \approx \frac{I_р + I_п}{2{,}5}. \qquad (2.25)$$

Для двигателей с фазным ротором и для других электроприемников ток плавкой вставки и. номинальный ток автоматического выключателя выбирают по номинальному току электропривода.

Автоматические выключатели серий ВА51 и ВА52 имеют номинальные токи 250, 400 и 630 А и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным напряжением до 660 В переменного тока и до 440 В постоянного тока.

Выключатели предназначены для отключений тока при коротких замыканиях и перегрузках в электрических сетях, отключений при недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей.

Выключатели ВА51 имеют среднюю коммутационную способность, ВА52 — повышенную.

Выключатели имеют тепловые и электромагнитные максимальные расцепители тока. Есть исполнения выключателей только с электромагнитными расцепителями.

В обозначении выключателя число 51 (или 52) означает номер серии. Следующее за номером серии двузначное число 35, 37 или 39 означает номинальный ток выключателя 250, 400 или 630 А соответственно.

Номинальные токи тепловых расцепителей указываются при заказе автоматических выключателей и имеют следующие значения: 100, 125, 160, 200, 250 А — для выключателей ВА51(52)-35; 250, 320, 400 А — для выключателей ВА51(52)-37; 400, 500, 630 А — для выключателей ВА51-39; 250, 320, 400, 500, 630 А — для выключателей ВА52-39.

Отношение тока срабатывания электромагнитных расцепителей к номинальному току тепловых расцепителей равно 12 для выключателей ВА51(52)-35 и 10 — для выключателей ВА51(52)-37 и ВА51(52)-39. Указанная кратность (кратность отсечки) относится к автоматическим выключателям переменного тока.

Автоматические выключатели с тепловыми максимальными расцепителями должны срабатывать при токе, значение которого рав-

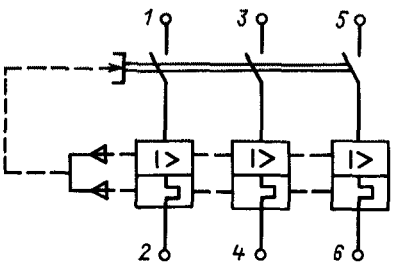


Рис. 2.24. Принципиальная электрическая схема выключателей типов ВА51-35, ВА51(52)-37, ВА51(52)-39

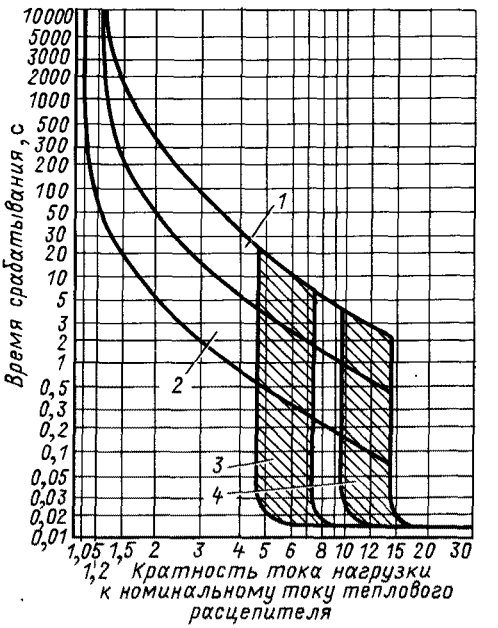


Рис. 2.25. Времятоковые характеристики выключателя типа ВА51-35:
1 — времятоковая характеристика с холодного состояния; *2* — то же с нагретого состояния; *3* — зона работы электромагнитного максимального расцепителя при постоянном токе; *4* — то же при переменном токе

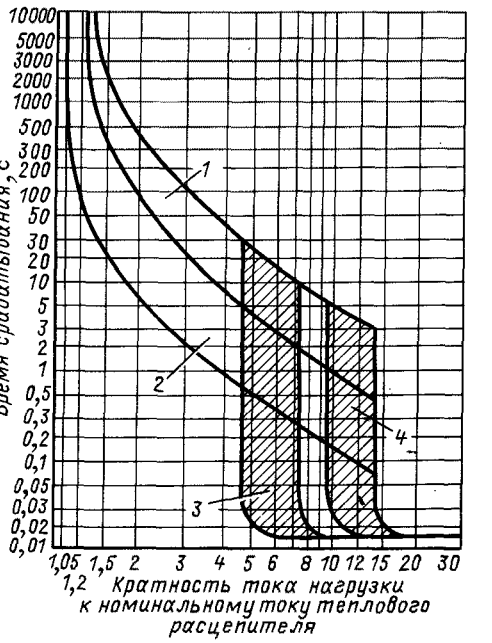


Рис. 2.26. Времятоковые характеристики выключателя типа ВА52-35:
1 — времятоковая характеристика с холодного состояния; *2* — то же с нагретого состояния; *3* — зона работы электромагнитного максимального расцепителя при постоянном токе; *4* — то же при переменном токе.

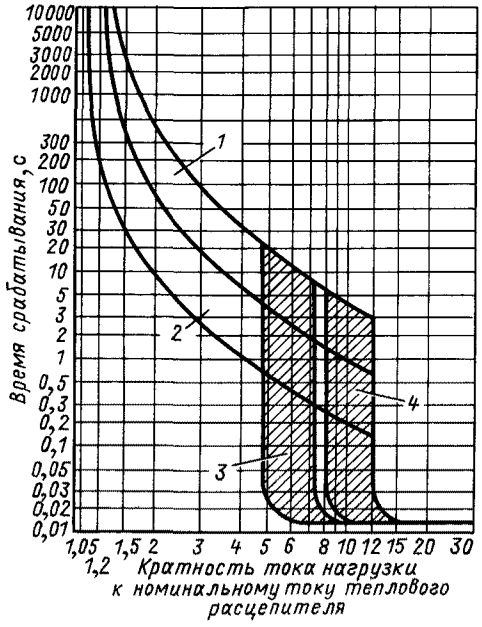


Рис. 2.27. Времятоковые характеристики выключателей типов ВА51 (52)-37 и ВА51 (52)-39: *1* — времятоковая характеристика с холодного состояния; *2* — то же с нагретого состояния; *3* — зона работы электромагнитного максимального расцепителя при постоянном токе; *4* — то же при переменном токе

но 1,25 номинального тока расцепителя в течение времени менее 2 ч (с нагретого состояния).

Принципиальная электрическая схема выключателей показана на рис. 2.24, времятоковые характеристики — на рис. 2.25—2.27.

При выборе уставок защиты следует руководствоваться общими рекомендациями, приведенными в § 2.18.

Автоматические выключатели ВА53(55)-37 имеют номинальные токи 160, 250, 400 А; автоматические выключатели ВА53(55)-39—160, 250, 400, 630 А. Назначение и условия эксплуатации такие же, как и описанных выше выключателей ВА51, ВА52.

Автоматические выключатели серии ВА53 — токоограничивающие, серии ВА55 — селективные с выдержкой времени в зоне токов короткого замыкания. Выключатели имеют полупроводниковый максимальный расцепитель тока и допускают ступенчатую регулировку следующих параметров:

номинального тока расцепителя: 0,63; 0,8; 1,0 номинального тока выключателя. Например, для выключателя с номинальным током 160 А номинальный ток расцепителя может быть установлен при регулировании 100, 125 и 160 А;

уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания, кратной номинальному току расцепителя 2, 3, 5, 7 и 10 — для переменного тока; 2, 4 и 6 — для постоянного тока;

уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки 4, 8 и 16 с (при шестикратном переменном и пятикратном постоянном токе);

уставки по времени срабатывания в зоне токов короткого замыкания для выключателей серии ВА55 0,1; 0,2 и 0,3 с — для переменного тока; 0,1 и 0,2 с — для постоянного тока. Уставки по времени действуют в зоне селективности, которая ограничивается значением тока короткого замыкания 20—28 кА в зависимости от конкретного типа выключателя. Выше границы зоны селективности выключатели срабатывают без выдержки времени.

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

Принципиальная электрическая схема выключателей показана на рис. 2.28. Времятоковые характеристики выключателей переменного тока даны на рис. 2.29 и 2.30, характеристики токоограничения — на рис. 2.31 и 2.32.

Номинальный ток расцепителя, уставку по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания (кратность отсечки), уставку по времени срабатывания в зоне токов перегрузки и (для селективных выключателей) в зоне токов короткого замыкания следует выбирать минимальными с учетом их ступенчатого регулирования. Так, максимальные значения уставки по току срабатывания в зоне токов ко-

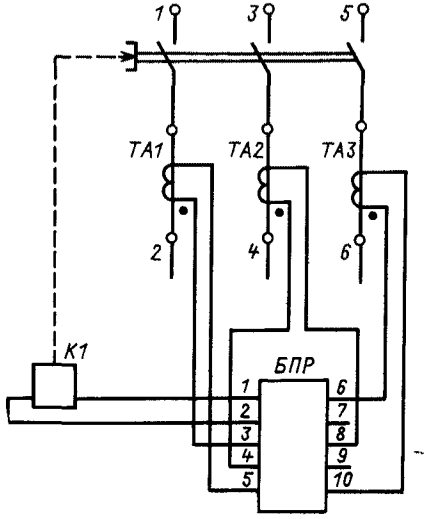


Рис. 2.28. Принципиальная электрическая схема выключателей переменного тока стационарного исполнения серий ВА53 и ВА55: *БПР* — блок полупроводниковый максимального расцепителя; *К1* — реле; *ТА* — трансформаторы тока

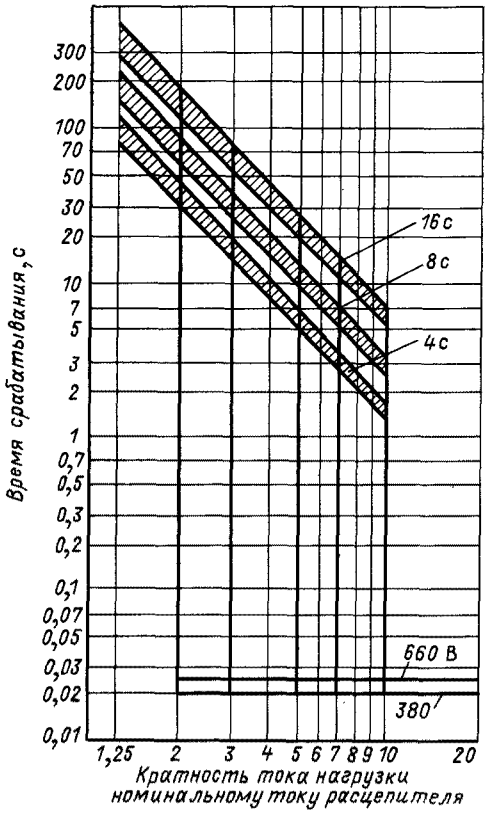


Рис. 2.29. Времятоковые характеристики выключателей типов ВА53-37(39) переменного тока

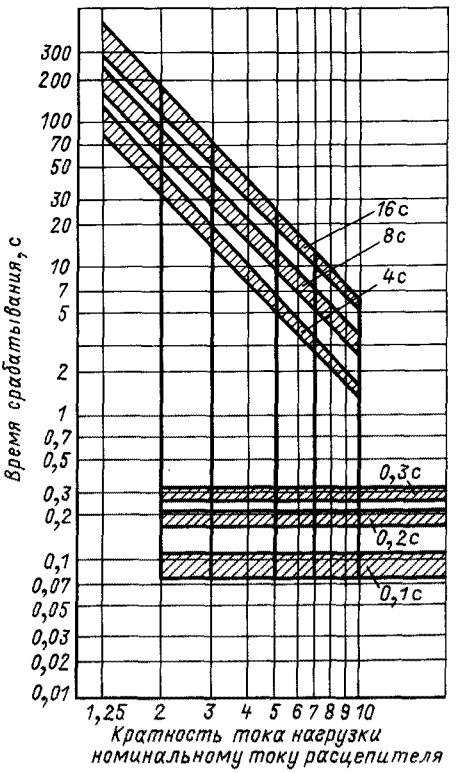


Рис. 2.30. Времятоковые характеристики выключателей типов ВА55-37 (39) перемеиного тока

роткого замыкания следует использовать только в тех случаях, когда в защищаемом участке электрической сети возможны значительные броски тока, обусловливаемые технологическим процессом, включением трансформаторов или пуском электродвигателей. При спокойном характере иагрузки значение кратиости отсечкн следует выбирать не более чем 3—5, а при увереиности в отсутствии бросков тока можно использовать и миимальную кратность 2. При этом следует иметь в виду, что в случае необходимости можно увеличить кратиость отсечки в период эксплуатации. Уставку по времени срабатывания в зоне токов перегрузки более 4 с следует приимать при тяжелых условиях пуска электродвигателей (большая кратность пускового тока, зиачительный момент ннерции механизма) или при длительных пиках технологической перегрузки.

По условиям отстройки от пусковых токов (или пиков нагрузки) желательно, чтобы ток и время срабатывания по выбраиной защитиой характеристике ие менее чем в 1,5 раза превышали ожидаемые расчетные зиачеиия.

По условиям селективности выключатель вышележащей ступени защиты (ближе к источнику питания) должен иметь такую защитную характернстику, у которой время действия при любом значеиии тока перегрузки и короткого замыкания превышает не менее чем в 1,5 раза время действия при том же токе у выключателя инжележащей ступени защиты.

Автоматические выключатели ВА75-45 имеют одио зиачение номинального тока расцепителя — 2500 А; автоматические выключатели ВА75-47 имеют максимальный расцепитель с номинальным током 2500 или 4000 А. Указаиные значения номинальиых токов расцепителей считаются и номинальиыми токами выключателей.

Выключатели предназиачены для установки в электрнческих цепях с номинальным напряжением переменного тока до 660 В н постоянного тока до 440 В и служат для защиты электроустановок при перегрузках и коротких замыканиях, а также для нечастых включенний и отключений электрнческих цепей при номинальных режимах работы.

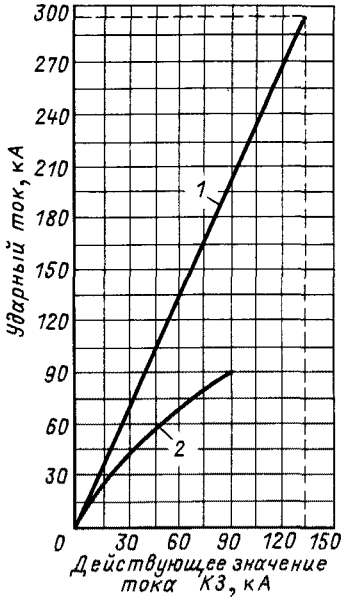


Рис. 2.31. Характеристика токоограничения выключателей переменного тока типов ВА53-37(39) при $\cos\varphi=0{,}2$; $U_{ном}=380$ В:
1 — без ограничения тока; *2* — с ограничением тока

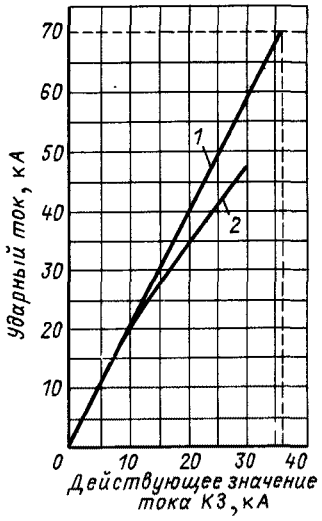


Рис. 2.32. Характеристика токоограничения выключателей переменного тока типов ВА53-37(39) при $\cos\varphi=0{,}3$; $U_{ном}=660$ В:
1 — без ограничения тока; *2* — с ограничением тока

Выключатели имеют полупроводниковый максимальный расцепитель тока и допускают ступенчатую регулировку следующих параметров:

номинального тока расцепителя: 0,63; 0,8; 1,0 номинального тока выключателя;

уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания кратны номинальному току расцепителя 2, 3, 5, 7 — для выключателей переменного тока с расцепителем 2500 А; 2, 3, 5 — для выключателей переменного тока с расцепителем 4000 А; 2, 4, 6 — для выключателей постоянного тока с расцепителем 2500 А и 2, 4 — для выключателей постоянного тока с расцепителем 4000 А;

уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки 4, 8 и 16 с (при шестикратном переменном и пятикратном постоянном токе);

уставки по времени срабатывания в зоне токов короткого замыкания (до верхней границы зоны селективности) 0,1; 0,2; 0,3 с — для выключателей переменного тока и 0,1; 0,2 с — для выключателей постоянного тока. Зона селективности ограничивается значениями 36 и 45 кА (действующее значение) для выключателей переменного тока с расцепителями 2500 и 4000 А соответственно и значениями 50 и 60 кА для выключателей постоянного тока ВА75-45 и ВА75-47 соответственно.

Ток срабатывания в зоне перегрузки (ток трогания) равен 1,25 номинального тока расцепителя.

Времятоковые характеристики выключателей даны на рис. 2.33—2.36.

При выборе уставок защиты следует руководствоваться общими рекомендациями, приведенными в § 2.17, и рекомендациями для автоматических выключателей серий ВА53 и ВА55.

Комбинированная защита разными аппаратами на разных ступенях сети. При защите предохранителями, автоматическими выключателями выбор аппаратов выполняется по указаниям, приведенным в § 2.17 и 2.18. Проверка по условиям селективности может быть осуществлена путем наложения кривых $t=f(I)$, вычерченных в одинаковом масштабе. При этом следует учитывать (2.22) и возможные отклонения от характеристик в пределах допусков, гарантируемых заводом-изготовителем.

При защите ответвлений к электродвигателям автоматическими выключателями или предохранителями за исключением ответвлений во взрывоопасных зонах рекомендуется учитывать тепловые реле, установленные в начале ответвления и действующие на отключение пускателя или контактора.

При наличии таких реле ответвление защищается от токов КЗ и перегрузки, если выполняются следующие условия:

номинальный ток тепловых реле не превышает длительно допустимого тока ответвления;

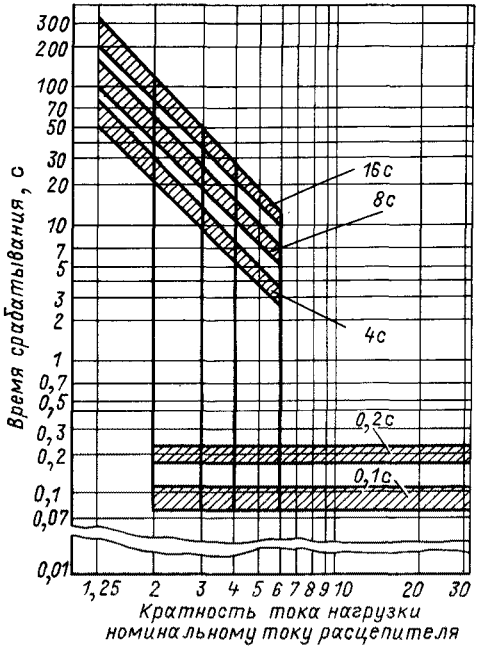


Рис. 2.33. Времятоковые характеристики выключателей типов ВА75-45(47) постоянного тока с расцепителями 1600, 2000 и 2500 А

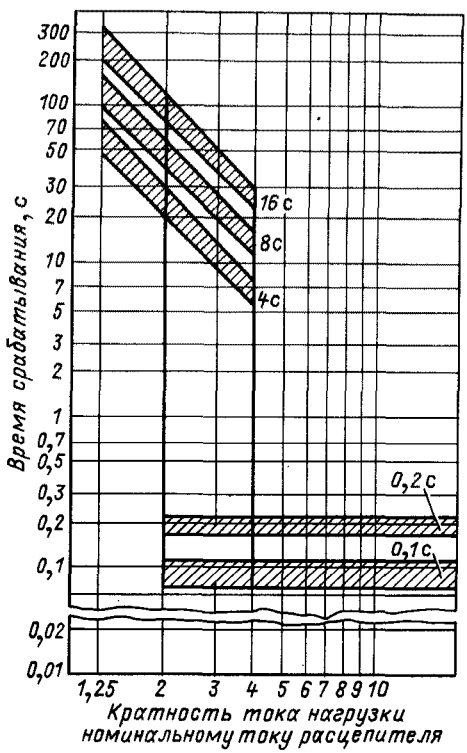


Рис. 2.34. Времятоковые характеристики выключателя ВА75-47 постоянного тока с расцепителями 3200 и 4000 А

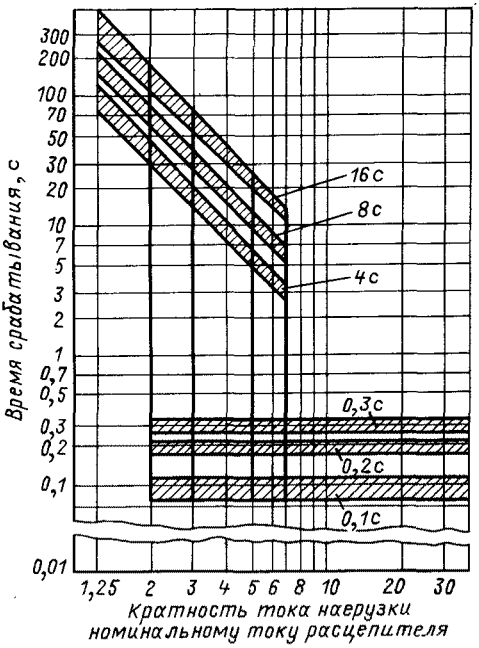


Рис. 2.35. Времятоковые характеристики выключателей типов ВА75-45(47) переменного тока с расцепителями 1600, 2000 и 2500 А

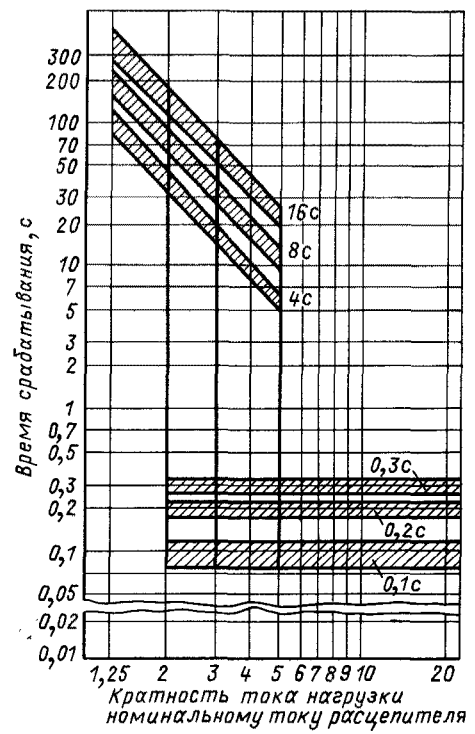


Рис. 2.36. Времятоковые характеристики выключателя типа ВА75-47 переменного тока с расцепителями 3200 и 4000 А

в трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью тепловые реле установлены в трех фазах, с изолированной нейтралью — в двух (или трех) фазах;

номинальный ток расцепителей автоматического выключателя с обратно зависимой от тока характеристикой или номинальный ток плавких вставок предохранителей не превышает тока тепловых реле более чем в 2 раза.

При такой схеме защиты токи, не превышающие шестикратных значений длительно допустимого тока проводника, будут отключаться контактором или пускателем при срабатывании тепловых реле. При бо́льших токах их кратность по отношению к номинальному току расцепителя автоматического выключателя или к номинальному току плавкой вставки предохранителя превысит значение 3, что в соответствии с требованиями ПУЭ является достаточным условием для отключения поврежденного участка сети автоматическими выключателями или предохранителями.

Е. РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПО ПОТЕРЯМ НАПРЯЖЕНИЯ

2.20. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Таблица 2.58. **Допустимые отклонения напряжения на зажимах электроприемников**

№ п/п.	Тип электроприемника и режим работы	Отклонения от номинального напряжения, %	
		Снижение	Повышение
1	Электродвигатели:		
	а) длительная работа в установившемся режиме — нормальная расчетная величина	5*[1]	10*[1]
	б) длительная работа в установившемся режиме для отдельных удаленных электродвигателей	8—10*[2]	—
	в) кратковременная работа в установившемся режиме, например во время пуска соседнего большого электродвигателя	20—30*[2]	—
	г) на зажимах пускаемого электродвигателя:		
	при частых пусках	10	—
	при редких пусках	10*[3]	—
	д) длительная работа в период послеаварийного режима сети	10*[1]	—
2	Лампы накаливания и люминесцентные лампы:		
	а) длительная работа — нормальная расчетная величина для ламп рабочего освещения в производственных помещениях и общественных зданиях, где требуется значительное зрительное напряжение, а также для прожекторных установок наружного освещения	2,5*[1]	5*[1]
	б) длительная работа ламп в жилых зданиях, ламп аварийного освещения промышленных зданий и наружного освещения	5*[1]	5*[1]
	в) длительная работа в период послеаварийного режима сети для установок, перечисленных в п. 2, а	7,5*[1]	—
	г) то же для установок, перечисленных в п. 2, б	10*[1]	—
	д) кратковременные колебания напряжения, например при редких пусках крупных электродвигателей:		
	для ламп накаливания	Не лимитируется, см. также § 4.5	
	для люминесцентных ламп	10*[4]	—
3	Печи сопротивления*[5] длительная работа — нормальная расчетная величина	5*[1]	5*[1]
4	Индукционные печи, получающие питание от преобразователей частоты	Как для электродвигателей (см. п. 1)	
5	Дуговые печи*[6]:		
	а) длительная работа — нормальная расчетная величина	5*[1]	5*[1]
	б) кратковременно, редко	Не лимитируется	

Продолжение табл. 2.58

№ п/п	Тип электроприемника и режим работы	Отклонения от номинального напряжения, %	
		Снижение	Повышение
6	Сварочные аппараты: а) длительная работа при нормальных пиках сварочного тока	8—10	—
	б) кратковременно при совпадении пиков нагрузки двух-трех аппаратов	См. текст § 2.19	

*1 По ГОСТ 13109—87.

*2 Характеристика асинхронных двигателей лишь немного ухудшается при уменьшении напряжения на 10 % ниже номинального. Если же мощность двигателей выбрана с небольшим запасом, длительная работа при напряжении на 8—10 % ниже номинального практически не влияет на их долговечность и на режим рабочей машины. Исключения составляют только те случаи, когда для привода механизмов с ударной нагрузкой двигатели выбраны не по условиям нагрева, а по необходимому моменту. Допустимое снижение напряжения в этих случаях во избежание опрокидывания двигателя должно определяться расчетом.

*3 При более низком напряжении минимальное значение пускового момента может оказаться меньше необходимого для пуска механизма, кроме того, растормаживающие магниты могут не втянуться и пускаемый механизм останется заторможенным.

*4 При снижении напряжения более чем на 7—10 % пуск и работа люминесцентных ламп становятся ненадежными (возможны погасания).

*5 Снижение напряжения у печей сопротивления удлиняет время нагрева и ухудшает технологический процесс, а повышение напряжения может существенно сократить срок службы их нагревательных элементов.

*6 Дуговые печи могут длительно работать и при напряжениях, отличающихся от номинального более чем на ±5 %. Однако условия нормального течения технологического процесса не позволяют превышать эти пределы значительно.

Расчет на потерю напряжения нужно вести с учетом следующих обстоятельств:

а) для длительной работы исходными являются расчетная мощность P_m или расчетный ток I_m и соответствующий току коэффициент мощности;

б) для кратковременных режимов, например, при пуске или перегрузке колебаний напряжения за исходную величину принимается максимальный ток

$$I_{max} = I_m + kI_{ном}, \qquad (2.26)$$

где I_{max} — максимальный ток; I_m — расчетный ток, соответствующий длительному режиму; k — кратность пускового тока или тока перегрузки; $I_{ном}$ — номинальный ток наиболее мощного потребителя или потребителя с наибольшими пиками нагрузок;

в) пусковые токи можно с достаточной для практических целей точностью принимать:

для синхронных и асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором

$$I_п = 6I_{ном} \quad \text{при} \quad \cos\varphi = 0{,}25 \div 0{,}35; \qquad (2.27)$$

для асинхронных электродвигателей с контактными кольцами

$$I_п \approx 2I_{ном} \quad \text{при} \quad \cos\varphi = 0{,}5 \div 0{,}6; \qquad (2.28)$$

для электродвигателей постоянного тока

$$I_п \approx 2I_{ном}. \qquad (2.29)$$

Однако, когда это может существенно повлиять на результаты, необходимо пользоваться конкретными данными пускаемого электродвигателя;

г) в дуговых электропечах в периоды расплавления электроды часто замыкаются накоротко кусками металла. При этом ток достигает 3—3,5 кратной величины номинального при $\cos\varphi = 0{,}4 \div 0{,}6$. В период рафинирования расплавленного металла эти печи характеризуются устойчивой трехфазной нагрузкой при высоком коэффициенте мощности;

д) аппараты для электросварки сопротивлением создают однофазную прерывистую нагрузку с большой частотой колебаний и большими амплитудами. Потребляемый ток во многих случаях превосходит номинальный в 2—8 раз при $\cos\varphi = 0{,}3$;

шовная сварка сопротивлением обычно имеет наиболее напряженный режим и диапазон колебаний нагрузки от нуля до максимума;

аппараты дуговой сварки также создают однофазную прерывистую нагрузку с большими амплитудами, но с меньшей частотой колебаний;

е) в каждом пункте сети достаточно проверить потерю напряжения лишь у одного потребителя, для которого величина $kI_{ном}l$ наибольшая (l — расстояние от начала линии до потребителя).

При этом считаться с возможностью со-

впадения пуска двух и более потребителей в одном или разных пунктах сетн не следует, допуская исключение только для особо ответственных случаев;

ж) прн наличин нескольких и в особенностн больших сварочных аппаратов I_{max} определяется с учетом вероятности совмещения пиков двух н более аппаратов; расчет ведется по тому нз совмещенных пнков, который прнводнт к конструкции сетн, в достаточной мере надежно исключающей брак сварки; когда велика вероятность появления совмещенного пнка, превышающего принятую в расчет величину, предусматриваются автоматическне устройства, исключающие возможность одновремеиного включения соответствующнх аппратов.

2.21. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Условные обозначения. В дополнение к обозначениям § 2.6 приняты следующие условные обозначения:

U — рабочее междуфазиое напряжение, кВ;

$U_ф$ — рабочее фазное напряжеиие, кВ;

$U_{ном}$ — иоминальное (междуфазное) напряжеиие, кВ;

$U_{ном.ф}$ — номинальное фазное напряжеиие, кВ;

ΔU, $\Delta U_ф$ — потеря иапряжения (линейная и фазная), В;

$\Delta U\,\%$, $\Delta U_A\,\%$, $\Delta U_B\,\%$, $\Delta U_C\,\%$ — потеря напряжеиия линейная и фазная (в фазах A, B, C), %;

$e\,\%$ — удельная потеря напряженнн, %/(А·км);

$\Delta U_a\,\%$ — составляющая падення иапряжения от активного тока в активном сопротивлении для трансформаторов, %;

$$\Delta U_a\,\% = \frac{P_к}{S_{ном}} 100; \qquad (2.30)$$

$\Delta U_p\,\%$ — составляющая падення напряжения от реактнвного тока в реактнвном сопротивлении для трансформаторов, %;

$$\Delta U_p\,\% = \sqrt{U_к\,\%^2 - U_a\,\%^2}; \qquad (2.31)$$

$I_{ном}$ — номннальный ток потребителя или трансформатора, А;

I_m — расчетный ток в линии на участке m, А;

i_m — расчетный ток ответвления от линии в точке m, А;

I_{max} — максимальное значение (пик) тока, А;

$S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора (нли потребителя), кВ·А;

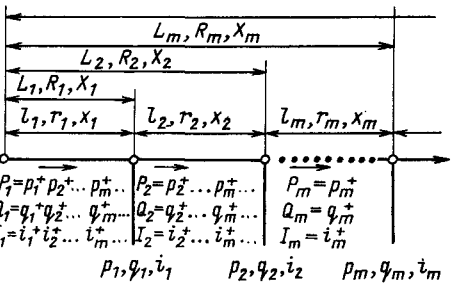


Рис. 2.37. Расчетная схема линий

$P_к$ — потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$U_к\,\%$ — напряжение короткого замыкання, % номинальиого напряжения траисформатора;

S_m, P_m, Q_m — полная (кВ·А), активиая (кВт) и реактивиая (квар) расчетные мощиости в линии на участке m;

S_{Am}, p_{Am}, Q_{Am} — то же, но с ннднсами A_m;

B_m или C_m для провода фаз A, B или C;

s_m, p_m, q_m — полиая (кВ·А), активная (кВт) и реактивиая (квар) расчетные мощности ответвлеиия в точке m;

s_{Am}, p_{Am}, q_{Am} — то же, ио с индексами A_m, B_m или C_m для провода фаз A, B или C;

R, X — активное и реактивное сопротивления проводиików лиiии, Ом;

R_0, X_0 — активное и реактивное сопротивления проводиików на едииицу длииы линии, Ом/км;

R_m, X_m — активное и реактивное сопротивления линии от точки иачала отсчета (рис. 2.37) (источника, ввода и т. п.) до точки m, Ом;

r_m, x_m — активное и реактивное сопротивлення линин на участке m, Ом;

s — сеченне проводников на рассматриваемом участке линин, мм^2;

r, d — радиус и диаметр поперечного сечения токоведущнх жил круглых проводников, см;

h, b — высота и толщнна шины по ее сечению, см;

ϑ — температура проводннка, ° С;

a — расстояние между центром соседних проводников, см;

$a_{с.г}$ — среднее геометрическое расстояние между проводниками, см;

ρ_ϑ, ρ_{20} — актнвное удельное сопротивленне проводника постоянному току при температуре ϑ, Ом·мм^2/м; для меди $\rho_{20}=0{,}0175$, для алюмииия $\rho_{20}=0{,}0295$, для стали (при постоянном

Таблица 2.59. **Расчет потерь напряжения в элементах электрнческих установок**

Рассчитываемый элемент	Схема, назначение или дополнительные данные рассчитываемого элемента	Расчетная формула
Сеть постоянного тока, питание одностороннее	Несколько (n) ответвлений расположены вдоль линии; сечения проводников на отдельных участках линии различны	$\Delta U=2\sum_1^n I_m r_m=2\sum_1^n i_m R_m$ (2.34)
	То же, но сечения проводников всех участков линии одинаковы	$\Delta U=\frac{2\cdot10^3}{\gamma s}\sum_1^n I_m l_m=\frac{2\cdot10^3}{\gamma s}\sum_1^n i_m L_m$ (2.35)
	Одна нагрузка в конце линии	$\Delta U\%=\frac{200}{\gamma s U_{\text{ном}}} I_{\text{ном}} l_m=\frac{200}{\gamma s U_{\text{ном}}^2} P_m l_m$ (2.36)
Трансформатор	Для питания силовых и осветительных сетей трехфазного тока 50 Гц	$\Delta U\%=\beta(\Delta U_a\%\cos\varphi_2+\Delta U_p\%\sin\varphi_2)+\frac{\beta}{200}(\Delta U_a\%\sin\varphi_2+\Delta U_p\%\cos\varphi_2)^2$. (2.37) Для трансформаторов до 1000 кВ·А можно вторым членом формулы пренебречь
Сеть трехфазиого тока 50 Гц, питание одностороннее; нагрузка фаз одинаковая, вдоль линии расположены n ответвлений, передается активная и реактивная мощность	Сечения проводников отдельных участков линии различны; cos φ ответвлений различны	$\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}}\left(\sum_1^n P_m r_m+\sum_1^n Q_m x_m\right)$; (2.38) $\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}}\left(\sum_1^n p_m R_m+\sum_1^n q_m X_m\right)$ (2.39)
	Сечения проводников всех участков линии одинаковы; cos φ ответвлений различны	$\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}}\left(R_0\sum_1^n P_m l_m+X_0\sum_1^n Q_m l_m\right)$; (2.40) $\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}}\left(R_0\sum_1^n p_m L_m+X_0\sum_1^n q_m L_m\right)$ (2.41)
	Сечения проводников всех участков линии одинаковы; cos φ ответвлений однаковы	$\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}\cos\varphi}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)\sum_1^n P_m l_m$; (2.42) $\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}\cos\varphi}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)\sum_1^n p_m L_m$ (2.43)
	Одна нагрузка в конце линии	$\Delta U=\frac{1}{U_{\text{ном}}\cos\varphi}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)P_m l_m$; (2.44) $\Delta U\%=\frac{\sqrt{3}}{10U_{\text{ном}}}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)I_m l_m=e\%I_m l_m$ (2.45)

Продолжение табл. 2.59

Рассчитываемый элемент	Схема, назначение или дополнительные данные рассчитываемого элемента	Расчетная формула
Сеть трехфазного тока 50 Гц; питание одностороннее; нагрузка фаз одинаковая; передается только активная мощность ($\cos\varphi = 1$)	Несколько (n) ответвлений расположены вдоль линии; сечения проводников на отдельных участках линии различны	$\Delta U = \frac{1}{U_{ном}} \sum_1^n P_m r_m = \frac{1}{U_{ном}} \sum_1^n p_m R_m$ (2.46)
	Одна нагрузка в конце линии	$\Delta U = \frac{10^3 P_1 l_1}{\gamma s U_{ном}} = \frac{10^3 p_1 L_1}{\gamma s U_{ном}}$ (2.47)
	Нагрузка равномерно распределена по всей длине одинакового сечения	$\Delta U = \frac{10^3 P_1 l_1}{2\gamma s U_{ном}}$ (2.48)
	Нагрузка равномерно распределена на участке, отстоящем на расстоянии L_1 от точки питания; длина участка $L_2 - L_1$	$\Delta U = \frac{10^3 P_2}{\gamma s U_{ном}} \left(L_1 + \frac{L_2 - L_1}{2} \right)$ (2.49)
Сеть электрического освещения; питание одностороннее; передается только активная мощность ($\cos\varphi = 1$)	Несколько (n) ответвлений расположены вдоль линии; нагрузки фаз равномерные; сечения проводников всех участков линии одинаковы	$\Delta U\% = \frac{10^3}{cs} \sum_1^n P_m l_m$ (2.50) (значения коэффициента c см. в табл. 2.62)
	Сеть трехфазная с нулевым проводником; n ответвлений расположены вдоль каждого фазного проводника, нагрузка фаз неравномерная, сечения всех четырех проводников одинаковы; рассчитывается фаза A (см. примечание)	$\Delta U_A\% = \frac{4 \sum_1^n P_{A_m} l_{A_m} - \sum_1^n P_{B_m} l_{B_m} - \sum_1^n P_{C_m} l_{C_m}}{4cs} \times 10^3$; (2.51) $\Delta U_A\% = \frac{4 \sum_1^n P_{A_m} L_{A_m} - \sum_1^n P_{B_m} L_{B_m} - \sum_1^n P_{C_m} L_{C_m}}{4cs} \times 10^3$; (2.52)

Примечание. Если сечение нулевого проводника равно половине сечения фазного проводника, то в (2.51) и (2.52) необходимо заменить множитель 4 в числителе на 3, а в знаменателе — на 2. Значения коэффициента c принимают по данным табл. 2.60 для однофазных сетей. Расчеты фаз B и C аналогичны.

Таблица 2.60. **Значения коэффициента c в (2.50)—(2.52)**

Номинальное напряжение сети, кВ	Система сети и род тока	Расчетная формула	Значения коэффициента c для проводников	
			с медными жилами	с алюминиевыми жилами
0,66/0,38	Три фазы с нулевым проводником	$\frac{\gamma U_{ном}^2 \cdot 10^6}{100 \cdot 1000} = 10\gamma U_{ном}^2$	231	139
	Две фазы с нулевым проводником	$\frac{\gamma U_{ном}^2 \cdot 10^6}{2{,}5 \cdot 100 \cdot 1000} = \frac{10}{2{,}5}\gamma U_{ном}^2$	96	60
	Одна фаза с нулевым проводником	—	36	22
0,38/0,22	Три фазы с нулевым проводником	$\frac{\gamma U_{ном}^2 \cdot 10^6}{100 \cdot 1000} = 10\gamma U_{ном}^2$	77	46
	Две фазы с нулевым проводником	$\frac{\gamma U_{ном}^2 \cdot 10^6}{2{,}5 \cdot 100 \cdot 1000} = \frac{10}{2{,}5}\gamma U_{ном}^2$	32	20
	Одна фаза с нулевым проводником	—	12	7,4
0,036 0,024 0,012	Двухпроводная переменного или постоянного тока	$\frac{\gamma U_{ном}^2 \cdot 10^6}{2 \cdot 100 \cdot 1000} = 5\gamma U_{ном}^2$	0,34 0,153 0,038	0,21 0,092 0,023

токе) $\rho_{20}=0{,}134$ (среднее значение); γ, γ_ϑ — активная удельная проводимость проводника,

$$\gamma_\vartheta = \frac{1}{\rho_\vartheta};$$

C_ϑ — температурный коэффициент, учитывающий изменение активного удельного сопротивления проводника при его температуре ϑ, отличной от 20 °С; для меди и алюминия можно принимать

$$C_\vartheta = 1 + 0{,}004\,(\vartheta - 20); \qquad (2.32)$$

для стали при постоянном токе

$$C_\vartheta = 1 + 0{,}0052\,(\vartheta - 20); \qquad (2.33)$$

C_c — коэффициент скрутки, учитывающий увеличение активного сопротивления многопроволочных жил вследствие увеличения фактической длины отдельных проволок жилы; для шин и однопроволочных проводников $C_c=1$, для многопроволочных жил $C_c=1{,}02$;

$C_{п.э}$ — коэффициент поверхностного эффекта, учитывающий увеличение ρ_ϑ и ρ_{20} при переменном токе 50 Гц;

L_m — длина линии от точки начала отсчета (источника, ввода и т. п.) до точки m, км;

L_{Am}, L_{Bm}, L_{Cm} — то же провода фаз A, B, C, км;

l_m — длина линии на участке m, км;

l_{Am}, l_{Bm}, l_{Cm} — то же провода фаз A, B, C, км;

β — коэффициент загрузки, отношение фактической (расчетной) нагрузки к номинальной мощности;

$\cos\varphi_m$, $\cos\varphi_2$ — коэффициент мощности на участке m и на зажимах вторичной обмотки трансформатора;

$\omega = 2\pi f$ — угловая частота переменного тока; при $f=50$ Гц $\omega=314$;

μ — коэффициент относительной магнитной проницаемости, для проводников из цветных металлов $\mu=1$.

Расчетные формулы приведены в табл. 2.59.

2.22. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Активное сопротивление, Ом/км, определяется по (2.53) с учетом (2.32) и данных табл. 2.61 и 2.62:

$$R_0 = C_\phi C_c C_{\text{п.э}} \rho_{20} \frac{10^3}{s} = C_c C_{\text{п.э}} \frac{1}{\gamma_\phi} \frac{10^3}{s}. \quad (2.53)$$

Реактивное сопротивление для любого расположения проводов круглого сечения определяется выражением, Ом/км,

$$X_0 = \omega \left(4{,}6 \lg \frac{a_{\text{с.г}}}{r} + 0{,}5\mu \right) \cdot 10^{-4}. \quad (2.54)$$

Для проводников круглого сечения из цветных металлов при $\mu = 1$ и частоте $f = 50$ Гц

$$X_0 = 0{,}144 \lg \frac{a_{\text{с.г}}}{r} + 0{,}0157. \quad (2.55)$$

Таблица 2.61. **Значения коэффициента $C_{\text{п.э}}$ в (2.53) для проводов и кабелей с медными жилами***

Проводник	Коэффициент $C_{\text{п.э}}$ для жилы сечением, мм²								
	150	185	240	300	400	500	625	800	1000
Трехжильный кабель с поясной изоляцией	1,01	1,02	1,035	1,052	1,094	1,15	—	—	—
Три одножильных кабеля или провода, расположенных по вершинам равностороннего треугольника без зазора	1,006	1,008	1,0105	1,025	1,05	1,08	1,125	1,20	1,29

* Для проводов и кабелей с алюминиевыми жилами можно с достаточной для практических целей точностью принимать те же коэффициенты, дополнительно умноженные на 0,95.

Таблица 2.62. **Значения коэффициента $C_{\text{п.э}}$ в (2.53) для шин прямоугольного сечения**

Размеры шин, мм	$C_{\text{п.э}}$		Размеры шин, мм	$C_{\text{п.э}}$		Размеры шин, мм	$C_{\text{п.э}}$		Размеры шин, мм	$C_{\text{п.э}}$	
	Алюминий	Медь		Алюминий	Медь		Алюминий	Медь		Алюминий	Медь
25×3	1,02	1,06	50×5	1,14	1,22	80×6	1,21	1,30	100×8	1,27	1,37
30×4	1,05	1,12	50×6	1,17	1,25	80×8	1,24	1,35	100×10	1,29	1,39
40×4	1,10	1,18	60×6	1,19	1,29	80×10	1,28	1,38	120×8	1,28	1,39
40×5	1,12	1,20	60×8	1,21	1,30	100×6	1,25	1,32	120×10	1,30	1,40

Таблица 2.63. **Сопротивление проводов и трехжильных кабелей**

Сечение жилы, мм²	Активное сопротивление жилы при 30 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км					
			Кабель с поясной бумажной изоляцией напряжением, кВ					Три провода в трубе, кабель с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией
	алюминиевой	медной	1	6	10	20	35	
1	—	18,5	—	—	—	—	—	0,133
1,5	—	12,3	—	—	—	—	—	0,126
2,5	12,5	7,4	0,104	—	—	—	—	0,116
4	7,81	4,63	0,095	—	—	—	—	0,107
6	5,21	3,09	0,090	—	—	—	—	0,100
10	3,12	1,84	0,073	0,11	0,122	—	—	0,099
16	1,95	1,16	0,0675	0,102	0,113	—	—	0,095
25	1,25	0,74	0,0662	0,091	0,099	0,135	—	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,087	0,095	0,129	—	0,088

Продолжение табл. 2.63

Сечение жилы, мм²	Активное сопротивление жилы при 30 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км					
			Кабель с поясной бумажной изоляцией напряжением, кВ					Три провода в трубе, кабель с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией
	алюминиевой	медной	1	6	10	20	35	
50	0,625	0,37	0,0625	0,083	0,090	0,119	—	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,080	0,086	0,116	0,137	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,078	0,083	0,110	0,126	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,076	0,081	0,107	0,120	0,080
150	0,208	0,124	0,0596	0,074	0,079	0,104	0,116	0,079
185	0,169	0,100	0,0596	0,073	0,077	0,101	0,113	0,078
240	0,130	0,077	0,0587	0,071	0,075	—	—	0,077

Таблица 2.64. **Сопротивление плоских шин**

Размеры, мм	Активное сопротивление при 30 °С, Ом/км				Индуктивное сопротивление (медных и алюминиевых), Ом/км, при среднем геометрическом расстоянии между фазами, см			
	алюминиевых		медных					
	Постоянный ток	Переменный ток	Постоянный ток	Переменный ток	10	15	20	30
25×3	0,410	0,418	0,248	0,263	0,179	0,2	0,205	0,244
30×3	—	—	—	—	0,163	0,189	0,206	0,235
30×4	0,256	0,269	0,156	0,175	0,163	0,189	0,206	0,235
40×4	0,192	0,211	0,117	0,138	0,145	0,170	0,179	0,214
40×5	0,154	0,173	0,0935	0,112	0,145	0,170	0,179	0,214
50×5	0,123	0,140	0,0749	0,0913	0,137	0,1565	0,18	0,200
50×6	0,102	0,119	0,0624	0,0780	0,137	0,1565	0,18	0,200
60×6	0,0855	0,102	0,0520	0,0671	0,1195	0,145	0,163	0,189
60×8	0,0640	0,0772	0,0390	0,0507	0,1195	0,145	0,163	0,189
80×6	0,0640	0,0772	0,0390	0,0507	—	—	—	—
80×8	0,0481	0,0595	0,0293	0,0395	0,102	0,126	0,145	0,170
80×10	0,0385	0,0495	0,0234	0,0323	0,102	0,126	0,145	0,170
100×6	0,510	0,0635	0,0312	0,0411	—	—	—	—
100×8	0,0385	0,0488	0,0234	0,0321	—	—	—	—
100×10	0,0308	0,0398	0,0187	0,0260	0,09	0,01127	0,133	0,157
120×8	0,0320	0,0410	0,0195	0,0271	—	—	—	—
120×10	0,0255	0,0331	0,0156	0,0218	—	—	—	—

Таблица 2.65. **Допустимые значения $P_m l_m \cdot 10^3$ на 1 % потерь напряжения в осветительных сетях, выполненных проводами (шнурами), проложенными открыто, в трубах или в общих металлорукавах**

Сечение фазового провода, мм²	Напряжение, В					
	380/220			40		12
	при системе проводки					
	фаза—нуль	две фазы—нуль	три фазы—нуль	две фазы	три фазы	два провода переменного или постоянного тока
Провода с алюминиевыми жилами						
2,5	21	55	125	0,75	1,5	0,06
4	33	88	200	1,1	2,2	0,1
6	50	132	300	1,6	3,2	0,15
10	88	220	500	2,75	5,5	0,25
16	133	350	800	4,4	8,8	0,4
25	207	550	1250	—	—	—
35	290	770	1750	—	—	—
50	—	1100	2500	—	—	—
70	—	1540	3500	—	—	—
95	—	2100	4750	—	—	—
120	—	—	6000	—	—	—
150	—	—	7500	—	—	—
185	—	—	9250	—	—	—
Провода с медными жилами						
1,0	14	37	83	0,5	1,0	0,05
1,5	21	55	125	0,75	1,5	0,062
2,5	35	92	208	1,1	2,25	0,102
4	56	148	332	1,9	3,75	0,168
6	84	222	498	2,75	5,5	0,246
10	140	370	830	4,6	9,25	0,410
16	228	594	1330	4,9	14,7	0,656
25	350	925	2080	—	—	—
35	490	1300	2950	—	—	—
50	—	1950	4150	—	—	—
70	—	2590	5800	—	—	—
95	—	3510	7890	—	—	—
120	—	—	10 000	—	—	—
150	—	—	12 410	—	—	—
185	—	—	15 300	—	—	—

Таблица 2.66. **Удельные потери напряжения (e, %) в трехфазных сетях 380 В, выполненных проводами в трубах и кабелями, % (А·км)**

Сечение жилы, мм²	e, %, при $\cos\varphi$							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Провода и кабели с алюминиевыми жилами								
2,5	1,76	2,32	2,89	3,45	4,02	4,58	5,14	5,69
4	1,11	1,47	1,82	2,18	2,52	2,87	3,23	3,56
6	0,754	0,988	1,22	1,46	1,69	1,92	2,15	2,37
10	0,469	0,610	0,748	0,887	1,03	1,17	1,29	1,42
16	0,307	0,394	0,480	0,567	0,642	0,735	0,817	0,888
25	0,211	0,266	0,321	0,375	0,428	0,480	0,530	0,569
35	0,160	0,200	0,238	0,276	0,313	0,349	0,384	0,407

Продолжение табл. 2.66

Сечение жилы, мм²	*e*, %, при cos φ							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
50	0,122	0,149	0,176	0,202	0,277	0,251	0,273	0,284
70	0,0965	0,116	0,134	0,152	0,169	0,185	0,200	0,203
95	0,080	0,0934	0,106	0,119	0,130	0,141	0,151	0,150
120	0,070	0,0806	0,0906	0,100	0,109	0,117	0,123	0,119
150	0,0628	0,0710	0,0787	0,0855	0,0915	0,0970	0,100	0,0945
185	0,0574	0,0638	0,0692	0,0746	0,0792	0,0830	0,0847	0,0769
240	0,0510	0,0555	0,0601	0,0637	0,0664	0,0683	0,0687	0,0592
Провода и кабели с медными жилами								
1	2,63	3,43	4,26	5,10	5,94	6,76	7,6	8,41
1,5	1,74	2,29	2,85	3,41	3,96	4,51	5,06	5,60
2,5	1,06	1,40	1,73	2,06	2,39	2,72	3,05	3,37
4	0,68	0,891	1,10	1,30	1,51	1,71	1,92	2,11
6	0,464	0,603	0,741	0,880	1,02	1,15	1,28	1,41
10	0,293	0,378	0,458	0,541	0,621	0,70	0,776	0,842
16	0,199	0,250	0,301	0,351	0,400	0,447	0,494	0,528
25	0,142	0,173	0,205	0,236	0,266	0,295	0,322	0,337
35	0,110	0,133	0,155	0,176	0,197	0,216	0,234	0,241
50	0,0874	0,103	0,117	0,132	0,146	0,158	0,169	0,169
70	0,0701	0,0805	0,0901	0,0997	0,107	0,115	0,121	0,120
95	0,0615	0,0692	0,0760	0,0824	0,0879	0,0929	0,0956	0,0887
120	0,0555	0,0615	0,0664	0,0710	0,0751	0,0779	0,0787	0,0702
150	0,0514	0,0551	0,0592	0,0624	0,0646	0,0664	0,0660	0,0562
185	0,0478	0,0510	0,0537	0,0555	0,0574	0,0578	0,0565	0,0455
240	0,0440	0,0460	0,0478	0,0490	0,0495	0,0490	0,0467	0,0350

Примечание. Для трехфазных сетей 660 В приведенные в таблице данные нужно разделить на 1,73.

Таблица 2.67. **Моменты тока, соответствующие заданным потерям напряжения для алюминиевых токопроводов при постоянном токе напряжением 220 В,** $I_m l_m = f(\Delta U\,\%)$

Потеря напряжения ΔU, %	Момент тока, А·км, для алюминиевых шин, мм								
	25×3	30×4	40×4	50×5	60×6	80×6	80×8	100×8	100×10
0,5	1,34	2,15	2,87	4,48	6,4	8,55	11,4	14,3	17,9
1,0	2,69	4,30	5,74	8,95	12,8	17,1	22,8	28,6	35,7
1,5	4,03	6,45	8,58	13,4	19,2	25,6	34,2	42,8	53,5
2,0	5,58	8,60	11,5	17,9	25,6	34,2	45,6	57,2	71,4
2,5	6,72	10,7	14,4	22,4	32,0	42,7	57,0	71,5	89,2
3,0	8,06	12,9	17,2	26,8	38,4	51,2	68,3	85,8	107
3,5	9,40	15,1	20,1	31,3	44,8	59,6	79,8	100	125
4,0	10,8	17,2	22,9	35,7	51,2	68,2	91,2	114	143
4,5	12,1	19,4	25,8	40,2	57,5	76,8	103	129	161
5,0	13,4	21,5	28,7	44,8	64,0	85,5	114	143	179
5,5	14,8	23,6	31,6	49,2	70,3	94,0	125	157	196
6,0	16,1	25,8	34,4	53,6	76,7	103	137	172	214
6,5	17,5	28,0	37,3	58,1	83,0	111	148	186	233
7,0	18,8	30,1	40,2	62,6	89,5	120	160	200	250
7,5	20,2	32,3	43,0	67,0	96,0	129	171	215	268
8,0	21,5	34,4	45,8	71,5	103	137	182	229	286
8,5	22,9	36,5	48,6	76,0	109	146	194	243	303
9,0	24,2	38,7	51,6	80,5	116	154	205	257	321
9,5	25,6	40,8	54,5	85,0	122	163	217	272	339
10,0	26,9	43,0	57,4	89,5	127	171	228	286	357

Для кабелей, проводов в трубах и для открыто проложенных проводов, расположенных по вершинам равностороннего треугольника, $a_{с.г}=a$. Для трех проводов, проложенных в одной плоскости с расстояниями между их центрами a_{12}, a_{23}, a_{31}, среднее геометрическое расстояние $a_{с.г}$ определяется выражением

$$a_{с.г}=\sqrt[3]{a_{12}a_{23}a_{31}}. \qquad (2.56)$$

При $a_{12}=a_{23}$ и $a_{31}=2a_{12}$ $a_{с.г}=1{,}26a_{12}$.

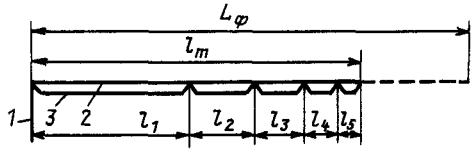


Рис. 2.38. Схема стального троллея в трехфазных сетях с безындукционной подпиткой из алюминиевых проводов в стальных трубах: *1* — ввод; *2* — троллей; *3* — подпитка; l_1, ..., l_5 — пять шагов подпитки; l_m — длина; l_ϕ — фиктивная длина троллея, км

2.23. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕТЕЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОВОДАМИ, КАБЕЛЯМИ И АЛЮМИНИЕВЫМИ ШИНАМИ

Указания к таблицам 2.71 и 2.72. Если известны допустимые значения ΔU %, I_m и l_m от точки питания до конца троллея, то при расчетах задаются числом шагов подпитки n, учитывая, что чем меньше n, тем больше сечение проводников подпитки. Тогда $M'=I_m l_m 10/\Delta U$ % и по M' и n в табл. 2.71 находят требуемые для подпитки число и сечение проводников с алюминиевыми жилами, проложенных в стальных трубах, и величину M_ϕ, по которой определяют $L_\phi=\frac{M_\phi}{M'}l_m$, и по табл. 2.72 находят длину каждого шага подпитки L_ϕ (рис. 2.38).

2.24. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ ТОКОПРОВОДОВ И КРАНОВЫХ ТРОЛЛЕЕВ

Таблица 2.68. **Моменты тока, соответствующие заданным потерям напряжения для стальных токопроводов при постоянном токе напряжением 220 В, $I_m l_m=f(\Delta U\ \%)$**

Потери напряжения ΔU, %	Момент тока, А·км, для допустимого тока $I_{доп}$, А									
	325	480	650	480	1275	1780	1310	1710	2170	2590
	при размерах стального токопровода									
	полоса, мм			угловая сталь, мм	швеллер		квадрат, мм			
	60×4	80×5	100×5	75×75×8	№ 10	№ 14	50×50	60×60	70×70	80×80
0,5	0,935	1,56	2,35	4,51	5,0	7,25	9,00	12,8	17,8	22,9
1	1,87	3,12	4,69	9,02	10,0	14,5	18,0	25,6	35,5	45,8
1,5	2,81	4,68	7,04	13,5	15,0	21,8	27,0	38,4	53,3	68,7
2,0	3,74	6,24	9,38	18,0	20,0	29,0	36,0	51,2	71,0	91,6
2,5	4,68	7,80	11,7	22,6	25,0	36,3	47,0	64,0	88,8	114
3,0	5,61	9,36	14,1	27,1	30,0	43,5	54,0	76,8	107	137
3,5	6,55	10,9	16,4	31,6	35,0	50,8	63,0	89,6	124	160
4,0	7,48	12,5	18,8	36,1	40,0	58,0	72,0	102	142	183
4,5	8,42	14,0	21,1	40,6	45,0	65,3	81,0	115	160	206
5,0	9,35	15,6	23,5	45,1	50,0	72,5	90,0	128	178	229
5,5	10,3	17,2	25,8	49,6	55,0	79,8	99,0	141	195	252
6,0	11,2	18,7	28,1	54,1	60,0	87,0	108	154	213	275
6,5	12,2	20,3	30,5	58,6	65,0	94,3	117	166	231	298
7,0	13,1	21,8	32,8	63,1	70,0	102	126	179	249	321
7,5	14,0	23,4	35,2	67,7	75,0	109	135	192	267	344
8,0	15,0	25,0	37,5	27,1	80,0	116	144	205	284	366
8,5	15,9	26,5	39,9	76,7	85,0	123	153	218	302	389
9,0	16,8	28,1	42,2	81,2	90,0	131	162	230	320	412
9,5	17,8	29,6	44,6	85,7	95,0	138	171	243	337	435
10,0	18,7	31,2	46,9	90,2	100,0	145	180	256	355	458

Таблица 2.69. **Значения $m=f(I_m)$ для определения $\Delta U\,\%=ml_m\cdot 10^3$ в трехфазных сетях 380 В, выполненных стальными токопроводами (крановые троллеи), проложенными в одной плоскости, при $a\approx 25\div 38$ см и $\cos\varphi=0{,}4\div 0{,}7$**

Значения m	Расчетный ток I_m, А						
	Угловая сталь				Швеллер		
	40×40×4	50×50×5	60×60×6	75×75×8	№ 10	№ 12, двутавр № 10	№ 14, двутавр № 12
0,060	65	80	95	125	150	175	195
0,065	70	88	103	135	162	190	210
0,070	75	95	111	140	176	205	225
0,075	80	108	120	156	190	220	242
0,080	85	110	130	168	204	237	260
0,085	90	118	140	180	220	254	280
0,090	95	125	150	194	235	270	300
0,095	100	133	160	208	250	285	322
0,100	108	140	171	222	267	300	343
0,105	115	149	182	236	283	320	365
0,110	123	158	193	250	300	340	386
0,115	130	168	204	264	316	360	408
0,120	138	177	215	278	333	380	429
0,125	145	186	226	292	349	400	451
0,130	153	195	237	306	366	420	472
0,135	160	204	248	320	382	440	494
0,140	168	214	259	334	399	460	515
0,145	175	223	270	348	415	480	537
0,150	183	282	280	362	432	500	558
0,160	200	250	300	390	465	540	600
0,165	210	264	317	404	490	568	632
0,170	220	277	334	427	515	595	663
0,175	230	291	351	449	540	623	695
0,180	240	304	368	472	565	650	726
0,185	**250**	**315**	**395**	494	580	678	758
0,190	260	331	402	**520**	**615**	**715**	789
0,195	270	345	419	539	640	733	**820**
0,200	280	358	436	562	665	760	852
0,210	300	385	470	607	715	815	915
0,220	320	412	504	652	765	870	978
0,230	340	439	538	697	815	925	1041
0,240	360	466	572	742	865	980	1104
0,250	380	493	606	787	915	1035	1167
0,260	400	520	640	832	965	1090	1230
0,270	420	547	674	877	1015	1145	1293
0,280	440	574	708	922	1065	1200	1356
0,290	460	601	742	967	1115	1255	1419
0,300	480	628	776	1012	1165	1310	1482

Примечания: 1. Полужирным шрифтом отмечены длительно допустимые нагрузки $I_{доп}$.
2. Для трехфазных сетей 660 В нужно значения m делить на коэффициент 1,73.

Таблица 2.70. **Допустимые значения моментов, А·км, для крановых троллеев из угловой стали 50×50×5 с параллельно проложенной (на расстоянии 25 мм от уголка) алюминиевой шиной в трехфазных сетях 380 В при расстояниях между троллеями** $a=25$ см, $I_m l_m = f(\Delta U\ \%)$

ΔU, %	Момент тока, А·км, для алюминиевых шин размером, мм											
	20×3	30×3	40×3	50×3	60×4	80×5	20×3	30×3	40×3	50×3	60×4	80×5
	Допустимый ток $I_{доп}$, А											
	265	370	450	580	720	1000	265	370	450	580	720	1000
	при коэффициенте мощности 0,5						при коэффициенте мощности 0,7					
1,0	6	7	8	8	10	11	5	6	7	8	10	12
1,5	8	10	12	13	14	17	8	9	11	12	15	18
2,0	11	14	15	17	19	23	10	13	15	16	20	24
2,5	14	17	19	21	24	29	12	16	18	20	25	31
3,0	17	20	23	25	29	34	15	19	22	24	29	37
3,5	20	24	27	29	34	40	18	22	26	28	34	43
4,0	22	27	31	33	38	46	20	25	29	32	39	49
4,5	25	30	35	37	43	52	23	28	33	36	44	55
5,0	28	34	38	41	48	57	25	31	37	40	49	61
5,5	31	37	42	45	53	63	28	35	40	44	54	67
6,0	34	41	46	50	58	69	30	38	44	48	59	73
6,5	37	44	50	54	62	74	33	41	48	52	64	79
7,0	39	48	54	58	67	80	35	44	51	56	69	85
7,5	42	51	58	62	72	86	38	47	55	60	74	91
8,0	45	54	62	66	77	92	40	50	58	64	78	98
8,5	48	57	66	70	82	97	43	53	62	68	83	104
9,0	50	61	69	74	86	103	46	57	66	72	88	110
9,5	53	64	73	79	91	109	48	60	70	76	93	116
10,0	56	69	77	83	96	114	51	63	73	80	97	122

Примечания: 1. При $a=38$ см данные таблицы уменьшаются на 5—7 %.
2. Для трехфазных сетей 660 В допустимые значения моментов, А·км, указанные в таблице, должны быть умножены на коэффициент 1,73.

Таблица 2.71. **Значения $M'=f(n)$ и $M_ф=f(n)$ для выбора сечения проводов, проложенных в газовых трубах, для безындукционной подпитки стальных троллеев в трехфазных сетях 380 В при расстоянии между троллеями** $a=25$ см **и** $\cos\varphi=0{,}7$

Профиль троллея	Число и сечение проводов с алюминиевыми жилами для подпитки	Значения M' при числе шагов n										$M_ф$	$I_{доп}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Угловая сталь 50×50×5	3(1×70)	37	54	61	64	66	67	—	—	—	—	67	160
	3(1×95)	39	59	70	76	78	80	81	82	—	—	182	195
	3(1×120)	39	64	78	87	92	96	98	99	100	100	101	210
	3(1×150)	40	67	84	96	103	108	112	114	115	116	110	235
	2×3(1×95)	41	72	94	111	123	133	140	145	148	151	159	350
	2×3(1×120)	42	75	100	121	136	148	158	166	172	176	193	400
	2×3(1×150)	42	76	104	127	145	161	173	183	191	198	227	420
	2×3(1×120)	43	82	110	136	158	177	193	207	218	228	284	430
	3×3(1×150)	43	82	113	141	166	188	207	223	238	250	337	430
Угловая сталь 75×75×8	2×3(1×150)	60	104	137	161	180	193	204	211	—	—	232	420
	3×3(1×95)	64	111	146	172	191	205	215	222	228	232	244	520
	3×3(1×150)	65	118	160	195	222	245	263	278	290	300	340	670
Швеллер № 10	1×3(1×150)	69	100	115	122	125	127	—	—	—	—	128	520
	2×3(1×150)	74	125	159	182	198	209	216	221	—	—	232	670
Двутавр № 12	2×3(1×150)	101	160	195	215	227	234	238	240	—	—	244	700

Таблица 2.72. **Длина шага линии безындукционной подпитки стальных троллеев в трехфазных сетях 380 В**

Профиль троллеев	Число и сечение алюминиевых проводов подпитки	Длина шага подпитки, $\%L_ф$									
		l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
Угловая сталь 50×50×5	3(1×70)	56	25	11	4,8	2,1	—	—	—	—	—
	3(1×95)	47	25	13	7	3,7	2,0	—	—	—	—
	3(1×120)	39	24	15	8,8	5,4	3,3	2,0	—	—	—
	3(1×150)	34	22	15	9,8	6,4	4,3	2,8	1,9	—	—
	2×3(1×95)	26	19	14	10,5	7,8	5,8	4,3	3,2	2,3	—
	2×3(1×120)	22	17	13	10,4	8,1	6,3	5,0	3,9	3,0	2,4
	2×3(1×150)	19	15	12	10	8,2	6,6	5,4	4,4	3,6	2,9
	3×3(1×120)	15	13	11	9,2	7,8	6,7	5,7	4,8	4,1	3,5
	3×3(1×150)	13	11	9,7	7,4	7,4	6,4	5,6	4,9	4,5	3,7
Угловая сталь 75×75×6	2×3(1×150)	26	19	14	10,5	7,8	5,8	4,3	3,2	—	—
	3×3(1×95)	26	19	14	10,5	7,8	5,7	4,2	3,1	2,3	1,7
	3×3(1×150)	19	15	13	10,1	0,2	6,6	5,3	4,3	3,5	2,8
Швеллер № 10	1×3(1×150)	54	26	11,5	5,4	2,5	1,1	—	—	—	—
	2×3(1×150)	32	22	15	10	6,9	4,7	3,2	2,2	—	—
Двутавр № 12	2×3(1×150)	41	24	14	8,3	4,9	2,9	1,7	1,0	—	—

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

А. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

3.1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Электродвигатели производственных механизмов, как правило, поставляются комплектно с технологическим оборудованием. Выбор двигателей производится обычно разработчиками технологического оборудования. Выбор электропривода, если он производится в электротехнической части проекта выполняется по рекомендациям, приведенным в главах В, Г, Д разд. 3.

На стадии разработки проекта силового электрооборудования технологам выдается задание с указанием напряжения питающих сетей и рекомендуемых типов электродвигателей (асинхронный или синхронный).

Совместно с технологами выбирают двигатели и аппаратуру для них в зависимости от климатических условий района строительства предприятия и характера среды помещений и цехов по ПУЭ, в условиях которых будет эксплуатироваться электрооборудование (нормальные, сырые, пыльные, пожароопасные и т. п.). Руководствоваться при этом рекомендуется главами Д, Е и табл. 3.23, 3.24, 3.26, 3.27, 3.28.

Двигатели для механизмов длительного режима работы, таких как насосы, вентиляторы и т. п., при мощностях 75 кВт и выше следует выбирать преимущественно синхронными (см. табл. 3.42, 3.43). Это обеспечит более высокий естественный коэффициент мощности проектируемого предприятия. Отказ от применения синхронных двигателей должен быть обоснован.

При напряжении сети 380 В двигатели в проектах принимаются обычно мощностью до 250 кВт. В связи с освоением отечественной промышленностью разнообразной номенклатуры средних и крупных синхронных двигате-

лей на напряжение 10 кВ (табл. 3.42) * стало возможным применять для электроснабжения некоторых предприятий химической и бумагоделательной промышленности напряження 10 кВ в сочетании с 660 В. В этих случаях мощность двигателей, питаемых от сетей низкого напряжения, следует повысить до 315 кВт при напряжении 380 В и до 600 кВт при напряжении сети 660 В [21].

Для двигателей небольшой мощности и в случаях, когда выбор синхронных двигателей для соответствующих приводов невозможен, принимают асинхронные двигатели единой серии на требуемую мощность и частоту вращения. Предпочтительным является выбор асинхронных двигателей с короткозамкиутым ротором как более иадежиых и простых в эксплуатации по сравнеиию с двигателями с фазным ротором.

Если производствеииые механизмы поставляются без пусковой и защитной аппаратуры для электродвигателей, выбор технических параметров аппаратуры следует производить по рекомеидациям гл. Б, В и Е разд. 3.

3.2. ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ УСТРОЙСТВА

К подъемно-транспортиым устройствам относятся краны, краи-балки, тельферы, передаточные тележки, работающие чаще всего в повторно-кратковременном режиме. Эти механизмы выбираются в технологической части проекта, а для электротехнической части проекта выдается только задание с указанием грузоподъемности и мощности отдельных механизмов, что позволяет рассчитать и выбрать сети и троллейные линии для их питаиия. При этом следует иметь в виду, что на всех краибалках и тельферах устанавливают двигатели с короткозамкиутым ротором, а на нормальных мостовых кранах — двигатели с фазиым ротором, за исключением двигателей небольшой мощности для передвижеиия тележки и моста, которые обычно также принимаются с короткозамкиутым ротором. При расчетах сетей и троллейных линий кратиость пускового тока принимается для двигателей с фазным ротором равной 2,5, а с короткозамкнутым ротором — 7.

Указания по выбору и применению троллейных линий даны в гл. Б разд. 3.

3.3. СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ И АГРЕГАТЫ

Электрическая сварка может быть дуговой или контактной. Для дуговой сварки на переменном токе применяют сварочные трансформаторы однофазного и трехфазного тока 380 В. Источником постоянного тока при сварке служат вращающиеся и статические преобразователи. Мощность сварочных трансформаторов 12—500 кВ·А, преобразователей 14—230 кВ·А, номинальная продолжительность включения ($ПВ_{ном}$) 60—100 %, а для одиопостовых мелких агрегатов — до 20 %.

Для автоматической дуговой сварки под слоем флюсов или в защитной газовой среде используют как трансформаторы, так и преобразователи. Большинство установок дуговой автоматической сварки трехфазного исполнения предиазиачено для питания от сети 380 В. Для управлеиия установками требуется подвод трехфазиой сети 380 В мощностью не более 2 кВт.

Присоединение одиофазных установок к источникам питания целесообразио выполнять проводом в трубах, прокладывая два одиожильных или один двухжильный провод для сварки (иа полную мощиость) и одиожильный провод в общей трубе сечением 2,5 мм^2 (на 2 кВт) для управления.

Сварочные агрегаты для контактной сварки (стыковой, точечной, шовной и т. п.) чаще всего однофазиые мощностью до 900 кВ·А. Продолжительиость включения агрегатов стыковой и точечиой сварки 12—20 %, а шовной — обычно 50 %. Потребная мощность для управления агрегатамн не превышает 5 кВт. Питание одиофазиых агрегатов рекомендуется выполнять так же, как и питание автоматических установок для дуговой сварки. Некоторые указания по выбору защитных аппаратов для сварочных устройств приведены в гл. Б.

3.4. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Электротермические устаиовки (ЭТУ) являются одним из видов специальных электроустановок.

ЭТУ представляет собой комплекс [24], состоящий из электрической печи, электронагревательного (электротермического) устройства или электротермического агрегата и электротехиического, механического и другого оборудования (в том числе контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации), обеспечивающего осуществлеиие техиологического процесса в устаиовке.

* Некоторые авторы продолжают пропагаидировать совершенно устаревшую теиденцию примеиеиия для синхроиных двигателей напряжения 6 кВ, которое следует применять только при реконструкции [35].

Электропечи, электротермические агрегаты и электронагревательные устройства — разновидности электротермического оборудования (ЭТО) [25], в которых электрическая энергия преобразуется в тепловую. Отличие электропечей от электронагревательных устройств состоит в том, что первые имеют камеру или ванну нагрева, а у вторых ее нет. Электротермические агрегаты представляют собой совокупность конструктивно связанных между собой электропечей и охлаждающего, моечного и другого технологического, а также транспортирующего оборудования и устройств, обеспечивающих проведение комплексного производственного процесса.

В зависимости от метода нагрева, т. е. от способа преобразования электроэнергии в тепловую энергию, различают следующие семь видов электропечей и электронагревательных устройств: сопротивления прямого и косвенного действия с твердым или жидким электронагревателем; дуговые прямого и косвенного действия и комбинированного действия (с преобразованием электроэнергии в тепловую энергию в электрической дуге и в сопротивлении), в том числе плазменные; индукционные; электронно-лучевые; диэлектрического нагрева; ионного нагрева; лазерные. По этому же признаку различают и семь видов ЭТУ.

Проектирование и монтаж ЭТУ должны выполняться в соответствии с требованиями ПУЭ [1] и, в частности, гл. 7.5 ПУЭ.

Электротермические установки в отношении обеспечения надежности электроснабжения, как правило, следует относить к электроприемникам II и III категорий.

Категории электроприемников основного оборудования и вспомогательных механизмов, а также степень резервирования электрической части должны определяться с учетом особенностей конструкции оборудования ЭТУ и предъявляемых действующими стандартами, нормами и правилами требований к такому оборудованию, системам снабжения его водой, газами, сжатым воздухом, созданию и поддержанию в рабочих камерах печей давления или разряжения контролируемой атмосферы.

К III категории, как правило, следует относить электроприемники ЭТУ цехов, отделений, участков несерийного производства: кузнечных, штамповочных, прессовых, механических, механосборочных и окрасочных; цехов

Таблица 3.1. **Установки электропечей сопротивления**

Печи или агрегаты	Обозначение типа печи или агрегата	Номинальные параметры серии (пределы)	
		Температура, °С	Установленная мощность, кВт
Камерные с воздушной атмосферой	СНО	1000—1500	15—80
То же с защитной атмосферой	СНЗ	900—1200	14—140
Агрегаты камерные с воздушной атмосферой	СНЦА	950	500
Шахтные с воздушной атмосферой	СШО	700—1000	70—200
То же с защитной атмосферой	СШЗ	700—1000	40—300
Шахтные для газовой цементации	СШЦМ	900	70—105
То же для газового азотирования	США	650	17—120
Колпаковые с защитной атмосферой	СВС	650—850	35—100
Камерные с выдвижным подом	СДО	1200—1250	210—300
Конвейерные отпускные с воздушной атмосферой	СКО	350	50—145
То же с защитной атмосферой	СКЗ	700	50—160
Конвейерные закалочные с защитной атмосферой	СКЗ	900	70—230
Конвейерные с защитной атмосферой и камерами охлаждения	СКЗ	1000—1150	80—335
Агрегаты конвейерные	СКЗА	900	120—390
Толкательные с защитной атмосферой	СТЗ	750—950	220—310
То же с водородной атмосферой	СТН	1500—1750	8—60
Агрегаты толкательные	СТЗА	950—1000	620—800
	СТЦА	950	600—1000
Агрегаты с пульсирующим подом	СИЗ	900	80—150
	СИЗА	900	260
Агрегаты барабанные	СБЗА или СБЦА	900—950	45—215
Шахтные вакуумные	СШВ	600—1300	170—200
Элеваторные вакуумные	СЭВ	1150	15—70
Электрокалорифферы	СФО	100—300	15—90
Агрегаты электрокалориферные	СФОА	50	25—100

и участков (отделений, мастерских) инструментальных, сварочных, сборного железобетона, деревообрабатывающих и деревообделочных; экспериментальных, ремонтных, а также лабораторий, испытательных станций, гаражей, депо, административных зданий.

Электротермическое оборудование, изготовляемое предприятиями электротехнической промышленности, поставляется, как правило, с высокой степенью заводской готовности с соответствующим электрооборудованием и комплектными устройствами в виде щитов (шкафов) и пультов с контрольно-измерительными приборами (КИП) и аппаратурой систем автоматического регулирования (САР).

Для некоторого ЭТО САР содержит микропроцессоры, микро- или мииЭВМ. Значительная часть ЭТО снабжается одно- илн трехфазными электропечными трансформаторами или автотрансформаторамн, реже — преобразовательными траисформаторами (трехфазными) и преобразовательными секциями (выпрямительными или преобразования частоты).

Наиболее массовым видом ЭТУ являются установки печей и электронагревательных (электротермических) устройств * сопротивления (табл. 3.1). Они составляют до 90 % общего числа действующих ЭТУ, причем примерно 99 % числа этого вида устаиовок приходится на установки печей сопротнвлення косвенного действия и ие более 1 % — на установки печей (устройств) сопротивления прямого нагрева.

Печи сопротивления снабжаются электропечными трансформаторами или автотрансформаторами поиижающими, если их нагреватели работают при напряжении, отличающемся от напряжения электрической сети общего назначения, и регулировочными, если при разогреве печей или при проведении на них произведенных операций необходимо регулирование напряжения на нагревателях.

Большая часть регулировочных электропечных трансформаторов выполняют в ЭТУ печей сопротивлеиия также и функции понижающих трансформаторов. Иногда в таких установках используется блок из регулировочного автотрансформатора и понижающего трансформатора.

Для регулирования напряжения на нагревателях помимо трансформаторов и автотрансформаторов (преимущественно с ПБВ, реже с РПН) применяют также дроссели насыщения (ДН), индукционные регуляторы (ИР) [1], тиристорные блоки со встречным включением вентилей и преобразовательные (выпрямительные) агрегаты [2].

Режим работы установок печей сопротивления (продолжительный, прерывисто-продолжительный, перемежающийся, кратковременный или повторно-кратковременный) зависит от особенностей проводимых в печах производственных операций, от конструктивного исполиения, рассчитаиного на периодическое или непрерывное их действие.

Установки печей сопротивления, снабженные позиционными и импульсными САР, работают преимущественно в повторно-кратковременном режиме (установки с импульсными САР с более высокой частотой переключения), а снабженные непрерывными или программными непрерывными САР — в продолжительном, прерывисто-продолжительном нли перемежающемся режимах, обычно с плавным изменением потребляемой мощности.

Установки печей и устройств сопротивления косвенного действия большей частью трехфазные; устройств прямого нагрева — однофазные; установки мощных однофазных устройств сопротивления прямого нагрева (с траисформаторами 500 кВ·А и более) могут снабжаться симметрирующими устройствами.

Естественный коэффициент мощности установок печей сопротнвления косвеиного действия зависит от оборудования, используемого для регулирования мощиости нагревателей, и имеет следующее значение:

0,95—0,98 при трансформаторе или автотрансформаторе со ступенчатым регулированием напряжения;

0,7—0,9 при тиристорном регуляторе с фазовым управлением;

0,99—1 при контакторах или тиристорных регуляторах с широтно-импульсным управлением и питании нагревателей непосредственно от сети 220, 380 и 660 В.

Если в установке дополнительно предусматривается понижающий трансформатор, то коэффициент мощности снижается на 0,01—0,02.

Естественный коэффициент мощности установок печей сопротивления прямого нагрева, работающих на переменном токе, равен:

---

* Далее в тексте вместо термиа электропечь применяется термин «печь», а в ряде случаев вместо термина «электронагревательное (электротермическое) устройство» — «устройство».

[1] ДН и ИР примеияются в основном в действующих установках.

[2] Используются в небольшом числе действующих мощных установок прямого нагрева (графитирования, а также нагрева труб).

0,97—0,99 для электронагревателей и электрокотлов (с непосредственным нагревом воды электрическим током);

0,8—0,9 для установок прямого нагрева заготовок (стержней труб) при мощности до 2 МВт;

0,59—0,73 для графитированных печей при мощности 3—6 МВт;

0,75—0,93 для печей по производству карбида кремния мощностью 2—4 МВт.

Установки ЭШП [1] (табл. 3.2) работают в прерывисто-продолжительном или продолжительном режиме и являются преимущественно однофазными, реже — трехфазными.

Естественный коэффициент мощности установок ЭШП зависит от конструктивной схемы и габаритов (массы слитка) печи.

У однофазных установок ЭШП с массой слитка 2,5—40 т коэффициент мощности составляет (в среднем) [2]:

0,6—0,75 при одноэлектродной схеме электрод — поддон;

0,8—0,9 при двухэлектродной схеме бифилярной.

У трехфазных установок ЭШП коэффициент мощности 0,75—0,9.

Установки дуговых сталеплавильных печей (ДСП) — трехфазные (табл. 3.3), работают циклично в прерывисто-продолжительном режиме с резкими колебаниями тока.

Исследования действующих систем электроснабжения ЭСПЦ показали [27], что если для управления режимами работы ДСП не используются ЭВМ и ДСП не должны работать в определенной последовательности совместно с машиной непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), то зависимости между графиками нагрузки ДСП проявляются слабо. Циклы плавок отдельных печей практически сдвинуты случайным образом, особенно при большом числе ДСП в группе. Учитывая это, можно рассматривать совместную работу группы из n ДСП как n независимых опытов.

Когда группу составляют n печей одинаковой емкости, работающих примерно с одинаковой длительностью периода расплавления, вероятность одновременной работы в этой группе m печей определяется из уравнения

$$P_{m,n}=\frac{n!}{m!\,(n-m)!}p^m q^{n-m},$$

где p — средняя относительная длительность периода расплавления в долях единицы, равная частному от деления средней продолжительности периода расплавления всех печей группы на среднюю продолжительность у них же цикла плавки:

$$q=1-p.$$

В табл. 3.4 приведены составленные на основании уравнения расчетные формулы для определения вероятности $p_{m,n}$ при числе одновременно работающих в группе (присоединенных к одной секции шин или к одному вводу) печей n от 2 до 6 и при числе печей, одновременно работающих в периоде расплавления, от нуля до m.

Цикл плавки в ДСП включает три периода с различной электрической нагрузкой — расплавления, окисления (нагрузка 50—70 % нагрузки в период расплавления) и восстановления (нагрузка 25—50 % нагрузки в период расплавления). В четвертый период ДСП отключена, производится выпуск металла и загрузка печи. Длительность цикла плавки зависит от емкости печи, мощности печного трансформатора и от марки выплавляемой стали. При одной и той же марке длительность плавки больше в ДСП большей емкости.

В ряде новых электросталеплавильных цехов (ЭСПЦ) предусматривается использование ДСП емкостью 100—150 т при сокращенной длительности цикла только для расплавления и с выполнением остальных технологических операций в агрегатах внепечной обработки стали. При этом существенно повышается производительность установок ДСП.

Колебания напряжения в электрической сети, вызываемые резкими бросками тока в ДСП, перенапряжения, возникающие при обрывах в печи дуги и при отключениях установок воздушными и вакуумными выключателями, а также высшие гармоники (2, 3, 4, 5, 7, 11-я и 13-я) должны учитываться при выборе электрооборудования ЭТУ и систем электроснабжения.

Удельный расход электроэнергии, приведенный в табл. 3.3 и в других таблицах настоящего параграфа, является расчетным, без учета ее потребления на разогрев холодной печи, на проведение вспомогательных и других производственных операций и покрытие потерь, связанных с технологическими простоями.

Расчетные формулы вероятности, приведенные в табл. 3.4, экспериментально проверялись на ряде заводов с ДСП малой, средней и большой емкости. Было установлено, что при длительности периода исследования 10 сут обеспечивается приемлемая точность расчетов.

[1] Печи ЭШП по виду нагрева относятся к печам сопротивления. По конструкции печи ЭШП и ДСП аналогичны, поэтому по действующей системе классификации их относят к одной группе.

[2] Большее значение коэффициента мощности для установок с меньшей массой слитка.

Таблица 3.2. **Установки печей электрошлакового переплава (ЭШП) для выплавки слитков стали**

Тип печи*	Масса слитка, т	Рабочий ток, кА	Электропечной трансформатор с ВН 6 или 10 кВ		
			Мощность, кВ·А	Количество, шт.	Напряжение НН, В
ЭШП-0,25 ВГЛ	0,25	до 10	630	1	40—120
ЭШП-1,25 Л	1,25	до 14	1000	1	40—120
ЭШП-2,5 ВГ	2,5	до 21	1600	1	40—120
ЭШП-2,5 Л	2,5	до 28	2500	1	40—120
ЭШП-10 ВГ	10	до 25	2500	1	40—120
ЭШП-20 ВГ	20	до 50	5000	1—2	40—160
ЭШП-200 ВГ	200	до 50	5000	3	40—160

* В обозначении типов: ВГ означает, что печи предназначены для переплавки стали на слитки круглого или прямоугольного сечения; Л — печи предназначены для получения трубных заготовок и фасонных отливок.

Таблица 3.3. **Установки дуговых сталеплавильных печей**

Электропечь		Электропечной трансформаторный агрегат			Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
Тип	Емкость*, т	Мощность**, МВ·А	Напряжение		
			ВН, кВ	НН, В	
ДСП-0,5	0,5	0,63	6 или 10	216—98	630
ДСП-1,5	1,5	1,25	6 или 10	225—103	535
ДСП-3	3	2	6 или 10	243—116	510
ДСП-6	6	4,8	6 или 10	281—118	500
ДС-6***	6	4,8	6 или 10	281—118	500
ДСП-12	12	8	6 или 10	318—120	470
ДСП-25	25	15	10	370—130	450
		15	35	370—130	450
ДСП-50	50	25	35	407—144	430
		32 (+20 %)	35	465—159	420
ДСП-100	100	80 (90)	35	825—260	410
ДСП-150	150	80 (90)	110	825—260	410

* Печи емкостью 25—150 т снабжают статорами электромагнитного перемешивания металла.
** Агрегаты мощностью 0,63—8 МВ·А — с переключением ступеней напряжения без нагрузки (ПБВ), 15—80 (90) МВ·А — под нагрузкой (РПН). В скобках указана допускаемая перегрузка в процентах или мощность с учетом допускаемой перегрузки в мегавольтамперах.
*** Печи типа ДС-6 — с выкатной ванной, остальных типов — с поворотным сводом.

В табл. 3.4 в качестве примера приведены расчетные значения $p_{m,n}$, вычисленные при проведении исследований на предприятии, где одновременно могут получать питание от одной секции распределительного устройства от двух до шести ДСП емкостью по 100 т со средним значением (за 10 сут) $p=0{,}306$; $q=1-p=1-0{,}306=0{,}694$.

При определении 30-минутного максимума нагрузки группы ДСП должна суммироваться нагрузка ДСП групп, у которых периоды расплавления складываются с нагрузкой остальных ДСП той же группы при их работе в периоды окисления или восстановления.

При обследовании действующих установок ДСП [28] были определены пределы значений их коэффициентов мощности за плавку в зависимости от емкости печей:

0,84—0,9 — при 0,5—6 т
0,75—0,88 — при 12—50 т
0,67—0,77 — при 100—200 т

Установки руднотермических печей (РТП) (табл. 3.5) работают с закрытой дугой в продолжительном режиме, при стабилизированном значении тока; с открытой дугой (с рафинировочными процессами) в прерывисто-продолжительном режиме — циклично.

По данным обследований на действующих предприятиях [29] значения естественного коэффициента мощности на установках РТП в

Таблица 3.4. **Вероятности $p_{m,n}$ при различном числе n ДСП, одновременно работающих в группе, и число m печей группы, одновременно работающих в периоде расплавления**

n	m	$p_{m,n}$	
		Расчетная формула	Расчетное значение при $p=0{,}306$
2	0	$p_{0,2}=q^2$	0,481
	1	$p_{1,2}=2pq$	0,425
	2	$p_{2,2}=p^2$	0,094
3	0	$p_{0,3}=q^3$	0,334
	1	$p_{1,3}=3pq^2$	0,442
	2	$p_{2,3}=3p^2q$	0,195
	3	$p_{3,3}=p^3$	0,029
4	0	$p_{0,4}=q^4$	0,232
	1	$p_{1,4}=4pq^3$	0,409
	2	$p_{2,4}=6p^2q^2$	0,271
	3	$p_{3,4}=4p^3q$	0,080
	4	$p_{4,4}=p^4$	0,009
5	0	$p_{0,5}=q^5$	0,161
	1	$p_{1,5}=5pq^4$	0,355
	2	$p_{2,5}=10p^2q^3$	0,313
	3	$p_{3,5}=10p^3q^2$	0,138
	4	$p_{4,5}=5p^4q$	0,030
	5	$p_{5,5}=p^5$	0,003
6	0	$p_{0,6}=q^6$	0,112
	1	$p_{1,6}=6pq^5$	0,296
	2	$p_{2,6}=15p^2q^4$	0,326
	3	$p_{3,6}=20p^3q^3$	0,192
	4	$p_{4,6}=15p^4q^2$	0,064
	5	$p_{5,6}=6p^5q$	0,011
	6	$p_{6,6}=p^6$	0,001

зависимости от выплавляемых продуктов приведены ниже:

Продукт	Коэффициент	Рабочая мощность РТП, МВ·А
Ферросилиций . . .	0,87—0,89	8,5—14
То же	0,78—0,81	17,8—22,6
Феррохром	0,85—0,89	10,7—16,8
Силикомарганец . .	0,77—0,85	10,8—13,5
Силикохром . . .	0,86	11,4
Силикокальций . .	0,74	13,2
Карбид кальция . .	0,79—0,84	9,7
То же	0,85—0,89	36,0—55
Желтый фосфор . .	0,95—0,96	6,5—8,5
То же	0,96—0,97	24,6—50

Установки вакуумных дуговых печей (ВДП) (табл. 3.6), вакуумных дуговых гарнисажных печей (ВДГП) (табл. 3.7) и плазменных печей (табл. 3.8) содержат преобразовательные (выпрямительные) агрегаты, работают циклично в продолжительном или прерывисто-продолжительном режиме.

Коэффициент мощности установок при питании ВДП, ВДГП и плазменных печей от тиристорных преобразователей равен 0,6—0,8 при питании от параметрического источника тока (ПИТ); 0,90—0,95 при опережающем токе.

Индукционные установки промышленной частоты с тигельными печами (табл. 3.9) работают циклично, преимущественно в прерывисто-продолжительном, редко в перемежающемся режиме; с канальными печами (табл. 3.10) — в продолжительном или перемежающемся режиме.

Таблица 3.5. **Установки руднотермических печей (трехфазные)**

Тип печи	Основной получаемый продукт	Электропечной трансформатор		
		Число, шт., × × мощность, МВ·А	Напряжение	
			ВН, кВ	НН, В
РКО-2,5	Ферросплавы	1×2,5*	6 или 10	178—89
6РКЗ-2,5ФС	Синтетические шлаки	1×2,5*	6 или 10	308—154
ПКО-3,5	Феррохром	1×3,5*	6 или 10	371—260
РПЗ-10,5Ц	Цинк	3×3,5	6 или 10	255—162
РКЗ-16,5Ц	Цинк	3×5,5	6 или 10	204—130
РПЗ-16,5	Ферросплавы	3×5,5	6 или 10	360—190
РКЗ-16,5К	Электрокорунд	3×5,5	6 или 10	255—162
РПЗ-33Ш	Медный штейн	3×11	35	800—475
РПЗ-48**	Силикомарганец	3×21	154	238—137
РКЗ-48Ф	Фосфор	3×16	35	500—300
РКЗ-72Ф	Фосфор	3×26,7	110	649—149

* Трехфазный трансформатор, в установках с печами остальных типов — однофазные трансформаторы.

** Печь типа РПЗ-48 — шестиэлектродная, для остальных типов — трехэлектродные.

Примечание. Цифры (после букв) означают номинальную мощность печи, МВ·А, буквы означают: Р — руднотермическая; К — круглая ванна, П — прямоугольная; О — открытая печь, З — закрытая.

Таблица 3.6. **Установки вакуумных дуговых печей**

Тип печи	Диаметр кристаллизатора, мм	Масса слитка, т	Ток, кА		Мощность вспомогательного оборудования, кВт	Время цикла, ч	Скорость расплавления, кг/мин
			номинальный*	рабочий			
Для плавки сталн							
ДСВ-3,2-Г1	160—320	0,2—1	12,5	3—9	75	2,5—7,5	2—5
ДСВ-6,3-Г6	320—630	1,4—6,4	25	5—18	100	6,5—19,65	3—11
ДСВ-8,0-Г16	560—820	8—17	25	9—24	75	6—15	6—14
ДСВ-11,2-Г37	630—1120	10—37	37,5	10—32	140	20—82	6—19
Для плавки тнтана							
ДТВ-6,5-Г6	360—650	1—5,5	12,5; 25	12—25	35	0,5—16	9—22
ДТВ-8,7-Г10	450—870	2—10	25; 37,5	15—35	35	12—21	12—31
ДТВ-14-Г26	870—1400	10—26	50	29—50	35	21—30	23—45
ДДВ-1,4-В0,1	60—140	До 0,1	12,5	До 6	31	До 2,5	До 2,5
Для плавкн молнбдена							
ДНВ-2,5-В0,6	100—250	До 0,6	12,5	До 12	102	До 5	До 6
ДНВ-2,5-В0,6**	140—250	До 0,6	12,5	До 12	100	До 6	До 5

* Указан номинальный ток выпрямительных агрегатов, номинальное напряжение которых в установках плавки (выплавки) стали 75 и 48 В, а остальных 75 В. Рабочее напряженне (завнсит от диаметра электродов) в установках плавкн стали 23—28 В, титана 32—53 В.

** С нерасходуемым электродом, остальные типы — с расходуемым электродом.

Таблица 3.7. **Устаиовкн вакуумных дуговых гарнисажных печей для плавки титана**

Тнп печи	Емкость ванны, кг	Рабочие параметры*		Мощность вспомогательного оборудования, кВт	Время цикла, ч	Скорость расплавления, кг/мин	Удельный расход электроэнергии**, кВт·ч/кг
		Ток, кА	Напряжение, В				
ДТВГ-0,1ПФ	100	14	28—33	115	2,5	5—8	4
ДТВГ-0,16ПФ	160	14	28—33	132	5,5	6—8	2,7
ДТВГ-0,25ПФ	250	25	38—40	152	6,5	10—15	2,5
ДТВГ-0,6ПЦ	600	37,5	75	300	7	10—12	2,3

* Номинальные значения тока и напряжение выпрямнтельных агрегатов в установках с печами типа ДТБГ-0,6ПЦ—37,5 кА, 75 В, в остальных установках — 25 кА, 48 или 75 В.

** По жидкому металлу.

Таблица 3.8. **Установки плазмениых цепей**

Электропечь		Плазмотроны		Мощность преобразователя, кВт	Скорость		Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
Тип	Емкость, т	Количество, шт.	Номинальный ток, кА		плавления шихты, т/ч	нагрева воздуха, г/с	
Плазменные плавильные печн							
ПСП-0,6/0,7	0,6	1	3	700	0,3	—	—
ПСП-3/2,76	3	1	6	2760	2	—	900
ПСП-6/8,25	6	1	9	8250	4	—	700
ПСП-12/13,2	12	2	9	16 500	9	—	550
ПСП-30/24,75	30	4*	9	24 750	20	—	500

Продолжение табл. 3.8

Электропечь		Плазмотроны		Мощность преобразователя, кВт	Скорость		Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
Тип	Емкость, т	Количество, шт.	Номинальный ток, кА		плавления шихты, т/ч	нагрева воздуха, г/с	
Плазмогенераторы для нагрева газа Э (воздуха)							
ПГ-45/0,3	—	1	0,75	300	—	45	—
НТ-762.22.100	—	1	0,8	600	—	40	—

* Один плазмотрон резервный.

Таблица 3.9. **Установки индукционных тигельных печей промышленной частоты (50 Гц)**

Тип печи*	Мощность		Естественный коэффициент мощности печи	Производительность, т/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
	печного трансформатора, кВ·А	потребляемая печью, кВт			
Для плавки, выдержки и перегрева до 1400 °С чугуна					
ИЧТ-1/0,4	400	380	0,213	0,6	630
ИЧТ-2,5/1	1000	990	0,200	1,8	550
ИЧТ-6/1,6**	1600	1530	0,179	2,8	546
ИЧТ-10/2,5**	2500	2380	0,170	4,4	538
ИЧТ-10/4,0**	4000	3500	0,170	6,6	530
ИЧТ-21,5/5,6	5600	5400	0,170	10,5	525
ИЧТ-31/7,1	7100	6800	0,165	13,0	525
ИЧТ-60/20	20 000	18 000	0,156	34,0	530
Для выдержки, перегрева до 1400 °С и разливки жидкого чугуна					
ИЧТ-1/0,18**	180	170	0,173	2,8	60
ИЧТ-2,5/0,4	400	286	0,198	5,1	56
ИЧТ-6/0,4	400	375	0,180	7,3	51
ИЧТ-10/1	1000	845	0,164	17,6	48
ИЧТ-16/1,6	1600	1200	0,168	26,0	46
Для плавки алюминия и его сплавов (температура 750 °С)					
ИАТ-0,4/0,18***	180	170	0,172	0,3	745
ИАТ-1/0,4	400	320	0,164	0,6	610
ИАТ-2,5/1	1000	765	0,115	1,3	588
ИАТ-6/1,6	1600	1400	0,109	2,5	560
ИАТ-10/2,5²**	2500	2500	0,105	4,5	535
ИАТ-10/4,0**	4000	3800	0,105	7,6	525
Для плавки меди и ее сплавов (температура 1200 °С)					
ИЛТ-1/0,4	400	380	0,175	1,0	380
ИЛТ-2,5/1	1000	920	0,145	2,6	355
ИЛТ-10/1,6	1600	1260	0,100	3,6	350
ИЛТ-25/6,3**	6300	3090	0,090	9,3	335

* Числитель — емкость тигля, т.

** Возможна поставка одно- или трехфазных (с симметрирующим устройством) электропечных трансформаторов.

*** ВН электропечного трансформатора 380 В, к печам остальных типов — 6 или 10 кВ.

Таблица 3.10. **Установки индукционных канальных печей**

Тип печи*	Потребляемая печью мощность, кВт	Количество и мощность индукционных единиц, кВт	Производительность, т/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
Для выдержки, перегрева до 1400 °С и разливки жидкого чугуна				
ИЧКМ-2,5	250	1×250	7	36
ИЧКМ-6	500	1×500	14	36
ИЧКМ-10	500	1×500	12	42
ИЧКМ-16	500	1×500	11	45
ИЧКМ-25	2000	4×500	60	33
ИЧКМ-40	2000	2×1000	55	36
ИЧКМ-60	4000	4×1000	115	35
Для перегрева, поддержания стабильной температуры 1400 °С жидкого чугуна и заливки его в литейные формы				
ИЧКР-0,6	60	1×60	1,3	45
ИЧКР-1	60	1×60	1,1	54
ИЧКР-2,5	150	1×150	4	37
ИЧКР-6	150	1×150	3,6	41
Для плавки меди и ее сплавов (температура 1200 °С)				
ИЛК-0,4	60	1×60	0,25	240
ИЛК-1	260	1×260	1,3	200
ИЛК-1,6	750	1×750	3,8	195
ИЛК-2,5	700	2×350	3,5	200
ИЛК-6	1400	2×700	5,2	270
ИЛК-16	2300	4×575	8,5	270
ИЛК-16	1800	6×300	5,8	280
ИЛК-40	3450	6×575	12,8	270
Для выдержки, перегрева до 1200 °С и разливки меди и ее сплавов				
ИЛКМ-2,5	262	1×262	11,9	22,0
ИЛКМ-6	213	1×213	11,0	19,2
ИЛКМ-2,5	144	1×144	5,5	25,0
ИЛКМ-6	166	1×166	5,5	30,5
ИЛКМ-6	226	1×226	11,5	21,0
Для плавки алюминия и его сплавов (температура 750 °С)				
ИАК-0,4	160	1×160	0,4	400
ИАК-1	320	1×320	0,8	400
ИАК-2,5	640	2×320	1,6	400
ИАК-6	1200	4×300	3,0	400
ИАК-16	2220	6×370	5,5	400
ИАК-40	3500	—	7,5	—
Для перегрева, поддержания стабильной температуры 750 °С жидкого алюминия (или его сплавов) и заливки его в литейные формы				
ИАКР-0,16	18	1×18	0,6	30
ИАКР-0,25	28	1×28	1,0	27
ИАКР-0,6	36	1×36	1,2	30

* Цифры означают полезную емкость печи, т.

Индукционные установки промышленной частоты для нагрева заготовок непрерывного действия (табл. 3.11) работают в продолжительном режиме, периодического действия — в прерывисто-продолжительном режнме.

Индукционные плавильные и нагревательные установки промышленной частоты серийного изготовления комплектуются конденсаторными батареями, обеспечивающими полную компенсацию реактивной мощности; мощные (с ВН 6 или 10 кВ) могут снабжаться симметрирующими устройствами [24].

Индукционные установки средней (повышенной) частоты с тигельными открытыми нн-

Таблица 3.11. **Индукционные установки промышленной частоты для нагрева заготовок из цветных металлов и их сплавов перед прессованием***

Тип установки	Мощность, кВт	Размеры заготовок, мм		Мощность конденсаторной батареи, квар	Пронзводительность**, т/ч
		Длина	Диаметр		
ИНМ-50П-11/60НВ***	500	150—600	92—112	1800	0,9
ИНМ-50П-15/50НБ***	500	150—600	112—145	1800	1,8
ИНМ-75П-19/60НБ	750	200—600	145—195	2700	2,5
ИНМ-75П-19/80НБ	750	300—800	145—190	2700	2,5
ИНМ-75П-24/80НБ	750	300—800	190—240	2700	3,1
ИНМ-75П-40/100НБ	750	565—1000	275—410	2700	3,3
ИНМ-100П-35/85НБ	1000	400—850	225—350	4200	3,5
ИНМ-100П-31/100НБ	1000	450—900	240—305	4200	3,6

* Установки непрерывного действия. Напряженне снловых цепей 380 В, цепей управления 220 В, на иидукторе 660 В.

** Пронзводнтельность указана для заготовок из алюминия и его сплавов (температура нагрева 500 °С).

*** Двухфазные установки; установки остальных типов — трехфазные.

Таблица 3.12. **Установки открытых индукционных тигельных печей средней частоты**

Тип печи	Емкость тигля, т	Преобразователь			Мощность		Производительность, т/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
		Мощность, кВт	Напряжение сети, кВ	Частота, Гц	потребляемая печью, кВт	конденсаторной батареи, квар		
Для плавки сталн (температура 1600 °С)								
ИСТ-0,06/0,1	0,06	100	0,38	2400	90	1500	0,13	900
ИСТ-0,16/0,25	0,16	250	0,38	2400	215	4000	0,35	790
ИСТ-0,16/0,32	0,16	320	0,38	2400	300	5000	0,4	780
ИСТ-0,25/0,32	0,25	320	0,38	1000	320	5000	0,4	770
ИСТ-0,4/0,32	0,4	320	0,38	1000	300	7800	0,65	710
ИСТ-0,4/0,5	0,4	500	3 или 6	1000	450	8600	0,78	680
ИСТ-1,0/0,8	1	800	6 или 10	1000	790	15 600	1,3	625
ИСТ-2,5/2,4	2,5	2400	6 или 10	500	2350	22 500	4	600
ИСТ-6,0/2,4	6	2400	6 или 10	500	2230	45 000	3,5	600
Для плавки алюминия и его сплавов (температура 750 °С)								
ИАТ-0,4/0,8	0,4	800	6 или 10	500	610	14 000	1	605
ИАТ-2,5/1,6	2,5	1600	6 или 10	500	1450	25 000	2,5	590

Таблица 3.13. **Установки вакуумных индукционных тигельных печей средней частоты**

Тип печн*	Емкость тигля, т	Частота, Гц	Мощность					Время, мин		Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	
			установленная, кВт	преобразователя, кВт	трансформатора**, кВ·А	конденсаторной батареи, квар		расплавления	цикла	на расплавление	на цикл
						средней частоты	50 Гц**				
Периодического действия											
ИСВ-0,01/0,05	0,01	2400	110	50	—	1100	—	16	60	3440	5400
ИСВ-0,016/0,05	0,016	2400	95	50	—	880	—	22	50	1930	2850
ИСВ-0,06/0,1	0,06	2400	155	100	—	1760	—	120	150	2500	3000
ИСВ-0,16/0,1	0,16	2400	157	100	—	4400	—	138	180	2170	2630

Продолжение табл. 3.13

Тип печи*	Емкость тигля, т	Частота, Гц	Мощность					Время, мин		Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	
			установленная, кВт	преобразователя, кВт	трансформатора**, кВ·А	конденсаторной батареи, квар		расплавления	цикла	на расплавление	на цикл
						средней частоты	50 Гц**				
Полунепрерывного действия											
ИСВ-0,16/0,2	0,16	2400	435	200	2×40	4400	600	60	120	2100	3000
ИСВ-0,6/0,5	0,6	1000	600	500	2×320	7000	600	70	150	2050	2800
ИСВ-1,0/1,0	1,0	1000	2640	1000	2×320	8600	600	72	180	2000	2640
ИСВ-2,5/1,5	2,5	1000	4200	1500	2×560	20 000	1200	126	240	2000	2360

* Рабочая температура печи 1650—1700 °С.

** Электропечные однофазные трансформаторы (по 2 шт. на установку с ВН 380 В) и конденсаторная батарея промышленной частоты (50 Гц) устройства электромагнитного перемешивания металла.

Таблица 3.14. **Установки индукционных нагревателей средней частоты**

Тип нагревателя*	Мощность преобразователя, кВт	Частота, кГц	Размеры нагреваемых заготовок, мм		Производительность, кг/ч
			Диаметр	Длина	
ИНТ9-250/2,4	250	2,4	25—60	70—250	750
ИНТ2-500/1	500	1,0	60—130	100—400	1300
ИНТ1-500/2,4	500	2,4	25—80	70—400	1350
ИНТ1-800/1	800	1,0	50—100	70—400	2100

* Температура нагрева стальных заготовок — до 1200 °С.

Таблица 3.15. **Установки индукционные закалочные**

Тип установки	Мощность преобразователя, кВт	Частота, кГц	Производительность*, см²/мин
ИЗ1-250/4	250	4	500
ИЗ3-100/2,4	100	2,4	200
ИЗ3-200/2,4	200	2,4	400
ИЗ4-100/8	100	8	200
ИЗ4-200/8	200	8	400
ИЗ5-100/10	100	10±0,5	250
ИЗ6-100/2,4	100	2,4	750
ИЗ7-100/8	100	8	200
ИЗ7-200/8	200	8	400

* Производительность установок при поверхностной закалке стальных и чугунных деталей зависит от глубины закаливаемого слоя.

Таблица 3.16. **Высокочастотные установки с преобразователями на генераторных лампах**

Тип установки	Преобразователь			Назначение установки
	Мощность, кВт		Частота, кГц	
	колебательная	потребляемая		
Установки индукционного нагрева				
ВЧГ3-4/1,76*	4	6,8	1760	Закалка, нагрев металлических заготовок под пластическую деформацию
ВЧГ4-10/0,44	10	15,5	440	
ВЧГ4-25/0,44	25	32	440	
ВЧГ4-60/0,066	60	85	66	
ВЧГ6-60/0,44	60	85	440	
ВЧГ2-100/0,066	100	141	66	
ВЧГ6-160/0,066	160	235	66	
ВЧГ3-100/0,44	100	141	440	Наплавка металлических деталей твердым сплавом
ВЧГ7-160/0,44	160	235	440	
ВЧИ1-60/1,76	60	90	1760	Получение низкотемпературной плазмы**
ВЧИ4-160/1,76	160	240	1760	
Установки диэлектрического нагрева				
ВЧГ1-0,1/27	0,1	0,3	27 120	Сварка термопластических материалов
ВЧГ4-4/27	4	7,5	27 120	
ВЧГ5-10/27	10	20	27 120	
ВЧГ8-60/13	60	90	13,560	Общего применения

* Напряжение однофазной сети 220 В, для остальных установок — трехфазная сеть 380 В.
** С использованием для различных технологических целей.

Таблица 3.17. **Электронно-лучевые установки**

Тип устаиовки	Назначение	Установленная мощность, кВ·А	Количество × × мощность пушки, кВ·А	Ток луча, А	Обрабатываемый материал и его размеры	Производительность	Продолжительность цикла, ч	Рабочий вакуум в камере, мПа	
								технологической	пушки
1ЭСТ-150	Термообработка металла	285	1×150	5	Лента тугоплавких металлов шириной 120 и толщиной 0,02—0,2 мм	0,1—30 м/мин	До 3	13,3	1,33
ЭДП-0,7/500	Плавка цветных металлов	911	2×250	8,5	Молибденовые или ниобиевые слитки ∅ 160—260 мм, l = =1500 мм	0,5—3 кг/мин	До 3	13,3	1,33
1ЭСП-1000	Плавка стали	1410	4×250	8,3	Слитки стальные или мягкого железа ∅ 320—4500 мм, l = =3000 мм	5,6 кг/мин	До 8	13,3	1,33

Продолжение табл. 3.17

Тип устаиовки	Назиачение	Установленная мощность, кВ·А	Количество × ×мощность пушки, кВ·А	Ток луча, А	Обрабатываемый материал и его размеры	Производительность	Продолжительность цикла, ч	Рабочий вакуум в камере, мПа	
								технологической	пушки
ЭПП-100/40	Нанесение покрытий	109	2×40	2,6*	Покрытие кремнием толщиной 20 мкм пластин шириной до 40 мм	100 шт/ч	До 3	6,6	6,6

* Анодиое иапряжеиие 15 кВ, у установок других типов, приведенных в таблице, 30 кВ.

Таблица 3.18. **Лазерные установки для термообработки**

Продолжение табл. 3.18

Тип установки	Мощность, кВт		Ток разряда, А	Тип устаиовки	Мощиость, кВт		Ток разряда, А
	излучения	потребляемая			излучения	потребляемая	
ЛН-1,2 НО	1,2	30	15	УЛТ-2.01	2,0	30	6
ЛН-2,5 НМ	2,5	50	2,5	УЛТН-5.02	5,0	100	25

Таблица 3.19. **Установки ноиного нагрева**

Тип установки	Пределы регулнрованиня выпрямленного напряжения, В	Ток разряда, А	Масса садки, кг
Ионное азотнрование			
НГВ-6,6/6	0—1200	40	50
НШВ-9.18/6*	0—1200	160	500
НШВ-20.24/6	0—1200	650	2500
НШВ-28.7/6	0—1200	650	1000
Ионное осаждение покрытий**			
ННВ-6.6	0—1500	20	—
ННВ-6.10	0—1500	20	—
НШВ-9.6	0—1500	20	—

* С двумя рабочими камерами, работающими поочередно от одного нсточиика питаиия.
** Помнмо осиовиого выпрямителя установки содержат источиик питання электродугового нспарителя.

дукционными печами (ОИП) (табл. 3.12) и вакуумными (ВИП) (табл. 3.13) работают циклично в прерывисто-продолжительном режиме; с нагревателями непрерывного действия (ИНТ) (табл. 3.14) — в продолжительном; с нагревателями периодического действия — в перемежающемся или прерывисто-продолжительном режиме; с устройствами для поверхностной закалки (ИЗ) (табл. 3.15) — в перемежающемся или в повторно-кратковременном режиме.

Установки с ОИП, ВИП, ИНТ и ИЗ комплектуют тиристорными или двигатель-генераторными преобразователями, которые в после-

дующем полностью будут вытеснены тиристорными преобразователями. Некоторые установки для лучшего использования оборудования содержат по две ОИП или ВИП, поочередно подключаемые к преобразователю.

Установки с индукционными нагревателями средней частоты имеют индивидуальную или централизованную с параллельной работой преобразователей на сборные шины систему питания.

Высоковольтные установки индукционного и диэлектрического нагрева (табл. 3.16) содержат преобразователи с генераторными лампами, работают в перемежающемся или в повторно-кратковременном режиме.

Коэффициент мощности установок высокой частоты определяется характеристикой преобразовательного агрегата и режимом его работы.

Электроино-лучевые и лазерные установки (табл. 3.17 и 3.18), а также установки ионного нагрева (табл. 3.19) работают в продолжительном или прерывисто-продолжительном режиме.

3.5. УСТАНОВКИ ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В большинстве случаев напряжение электрического тока на ваннах не превышает 12 В. Однако при анодном оксидировании алюминия в серной кислоте требуется напряжение до 15 В, в хромовой кислоте — до 60 В, а при некоторых процессах покрытий — даже до 110 В.

Требуемый ток при осаждении металлов достигает нескольких тысяч, а в отдельных установках — десятков тысяч ампер.

Все процессы покрытия металлами требуют регулирования тока (или плотности тока), а некоторые процессы первоначально протекают на аноде или катоде, а заканчиваются при изменениой полярности.

При электролитическом полировании процесс протекает периодически то на одной полярности, то на другой. Изменение полярности осуществляется автоматически. Источниками электрической энергии постоянного тока являются преимущественно кремниевые преобразователи серии ВАК, ВАКР и др. [52].

Современные цехи металлопокрытий являются высокомеханизированным производством. Достаточно сказать, что стоимость электрической части механизированных линий составляет 70—80 %, в то время как технологической части — только 30—20 %.

Весь технологический процесс в цехе осуществляется механизированными линиями с автоматической или полуавтоматической транспортировкой и обработкой деталей.

Б. СХЕМЫ ВНУТРИЦЕХОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

3.6. ВНУТРИЦЕХОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Схемы сетей для внутрицехового распределения электроэнергии должны выполняться с учетом обеспечения необходимой степени надежности питания электроприемников, наглядности, удобства и безопасности эксплуатации, наименьших потерь электроэнергии и затрат, высокой индустриализации электромонтажных работ. Однако промышленные сети не могут быть экономично и надежно решены без учета источников электроэнергии — трансформаторных подстанций. Поэтому все вопросы, связанные с проектированием подстанций, входят в раздел электроснабжения. Без увязки требований сетей к электроснабжению правильно решить вопросы выбора мощности трансформаторов, их загрузки и месторасположения невозможно. Необходимо учитывать также особенности и режим работы той отрасли промышленности, для которой проектируются сети.

Так, для основных цехов газовой, нефтяной, химической, металлургической промышленности характерно наличие значительного числа электроприемников I категории при трехсменном режиме работы без выходных и праздничных дней. В то же время основные цехи машиностроительной, а также легкой промышленности работают по прерывистому двухсменному графику и для них следует сооружать, как правило, однотрансформаторные подстанции, загруженные по средней нагрузке первой смены до 100 %.

Такие же решения должны приниматься для цехов, работающих по двухсменному графику, и таких, как ремонтные и другие вспомогательные цехи в составе промышленных предприятий, работающих по трехсменному непрерывному графику. Электроприемники этих цехов, как правило, относятся к III и частично ко II категориям по надежности электроснабжения. Режим работы предприятий и годовой фонд времени работы оборудования в зависимости от числа смен и технологическо-

Таблица 3.20. **Годовой фонд времени работы оборудования по [34]**

Характер производства	Число смен	Число дней в году			Годовой фонд работы оборудования, ч	
		рабочих	отдыха	праздничных	номинальный	фактический
Прерывный технологический процесс (41-часовая неделя)*	1	253	104	8	2070	1840
То же (трехбригадный график)	2	253	104	8	4140	3680
Непрерывный технологический процесс (четырехбригадный график)	3	271	86	8	6216	5465
	3	365	—	—	8760	7800

* Во вредных пронзводствах применяется 36-часовая неделя.

го процесса приведены в табл. 3.20. При проектировании исходят из фактических (расчетных) фондов времени.

Для ответственных трехсменных производств с электроприемниками I категории необходимо проектировать цеховые подстанции с таким расчетом, чтобы было обеспечено бесперебойное электроснабжение потребителей I категории. Для таких производств характерны двухтраисформаторные подстанции с устройством АВР на стороне низкого напряжения и с загрузкой в нормальном режиме на 75—80 %. Кроме того, во многих цехах перечисленных отраслей имеют место взрыво- и пожароопасные среды, налагающие дополнительные требования надежности при конструировании сетей.

Внутрицеховые сети условно делят на питающие и распределительные. Под питающими сетями понимают сети, отходящие непосредственно от распределительных устройств подстанций к первичным силовым пунктам и щитам. Под распределительными сетями понимают сети, отходящие от пунктов, щитов или шинопроводов непосредственно к электроприемникам. Питающие сети могут выполняться по радиальным или магистральным схемам. Распределительные сети чаще всего бывают радиальными.

Радиальные схемы (рис. 3.1) следует применять при наличии сосредоточенных нагрузок (крупные электроприемники или группа мелких приемников) во взрывоопасных, иногда пожароопасных цехах, а также в цехах с химически активной средой и т. п. [21].

При подобной схеме подстанция выполняется с развитым щитом 380 или 660 В, предназначенным для распределения большей или даже всей мощности подстанции. Типичными примерами применения радиальных схем являются сети насосных, компрессорных станций, предприятий нефтехимической промышленности и т. п. К числу радиальных схем с непосредственным питанием от ГПП и РУ относятся также все схемы питания отдельных приемников высокого напряжения (двигатели, печи и т. п.).

При радиальных схемах много места занимают распределительные устройства на подстанции, сети не обладают гибкостью при реконструкции, требуют больших капитальных затрат, снижается индустриализация монтажа.

Магистральные схемы (рис. 3.2) применяются при нагрузках, распределениых более или менее равномерно по площади цеха. При магистральных схемах электроприемники присоединяются к магистралям чаще всего непосредственно [21]. Подстанции при магистральных схемах, как правило, выполняются по системе блока трансформатор — магистраль без развитого щита на подстанции. Прокладка магистралей выполняется на возможно меньшей высоте от пола (3—4 м). Конструкция магистралей должна допускать удобное ответвление к приемникам в любом

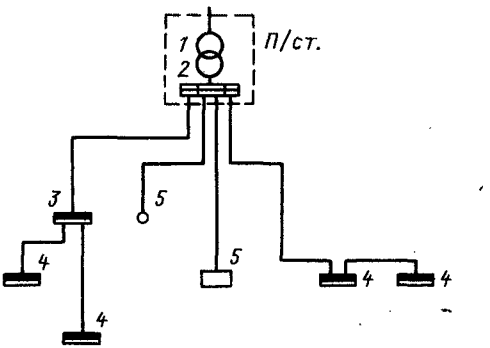


Рис. 3.1. Радиальная схема распределения энергии:
1 — трансформатор; *2* — щит низкого напряжения; *3* — питательный пункт; *4* — распределительный пункт; *5* — крупный двигатель или другой электроприемник

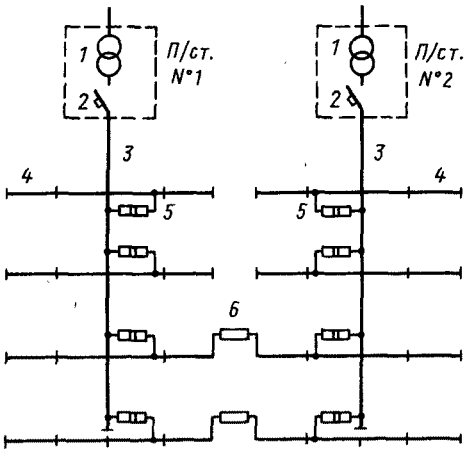


Рис. 3.2. Магистральиая схема распределения энергии:
1 — трансформаторы; *2* — автоматический выключатель подстанции; *3* — магистральный токопровод (шинопровод); *4* — распределительный токопровод (шинопровод); *5* — шкаф с рубильником и предохранитель (или автоматическим выключателем); *6* — шкаф с рубильником (разъединителем или автоматическим выключателем)

месте магистрали. Для электроснабжения цеховых потребителей в практнке проектирования редко применяют радиальные или магистральные схемы в чистом виде. Наибольшее распространение находят так называемые смешанные схемы электрических сетей (рис. 3.3), сочетающие в себе элементы как радиальных, так и магистральных схем.

Смешаиные схемы наиболее полно удовлетворяют требованиям дешевизны установкн, ее надежности и простоты в эксплуатации и считаются наиболее прогрессивным способом цехового распределения энергии. Такие схемы применяются в прокатиых и мартеиовскнх цехах металлургнческой промышленности, в литейных, кузиечных, сборочиых цехах, иа обогатительных фабриках и т. п. Конструкцни смешанных сетей выбирают в зависнмости от характернстики и конструкции здаиия и размещения приемников по площади цеха.

Пнтаиие крупиых электроприемников напряжением до 1 кВ осуществляется по радиальной схеме в зависнмости от размещеиня их относительио подстаиции либо непосредственно от нее, лнбо от главных магистралей.

Если иа подстанции нет свободиых низковольтиых ячеек, то в ией нли рядом устаиавлнвается силовой шкаф с автоматическими выключателямн и пусковыми аппаратами. Управление двигателем в этом случае осуществляется дистанционно вручную или автоматически. При питаини от главной магистрали

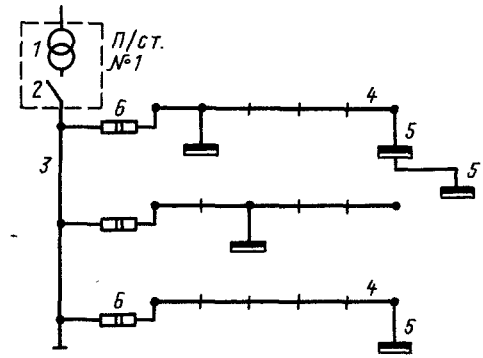


Рис. 3.3. Смешаиная схема распределеиия энергии:
1 — трансформатор; *2* — автоматический выключатель подстанции; *3* — магистральиый токопровод (шинопровод); *4* — распределительный токопровод (шинопровод); *5* — распределительный пункт; *6* — ящик с рубильником и предохранителямн (или автоматическим выключателем)

на ответвлеини устанавливается однолиией-ный шкаф.

Главные магистрали выполияются преимущественно в внде комплектных шинопроводов заводского-изготовлення. Прн примененин шиионроводов потеря напряжения в них определяется по табл. 3.21.

Распределительные сети для питаиия электроэнергией потребителей (двигателей, электротермических установок, преобразовательиых установок и т. п.) выполняются, как правнло, по радиальной схеме. Для пнтаиия иеответственных потребителей рекомендуется прнменять так называемую цепочку, прн которой к одной лиини прнсоединняется несколько электроприемников суммарной мощностью 10—11 кВт. Двнгатели с короткозамкиутым ротором допускается соединять в цепочку [21], еслн:

номннальный ток плавкой вставки предохраннтеля превышает номиналыный ток теплового элемента магнитного пускателя не более чем в 4 раза. Например, для четырех двигателей по 2,2 кВт с номиналыным током 5,65 А и кратностью пускового тока 7 плавкая вставка по (3.1) будет равна 20 А прн тепловом реле 6 А, что допустимо, так как кратность в этом случае меньше 4. Одиако при предохранителях не рекомеидуется соедннять в цепочку более трех двигателей одинаковой мощности. При двнгателях, отличающихся по мощности в 1,5 раза, допустимо соединять не более двух;

номиналыный ток теплового расцепителя автоматического выключателя, защищающего двигатель, превышает ток теплового элемента магнитиого пускателя двигателя не более чем в 2 раза.

Таблица 3.21. **Удельная потеря напряжения (e, %) в шинопроводах при напряжении сети 380 В**

Тип шинопровода, номинальный ток, А	e, %, при cos φ				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ШРА4:					
250	0,134	0,136	0,134	0,128	0,096
400	0,103	0,104	0,1	0,19	0,068
630	0,047	0,075	0,072	0,067	0,046
ШМА4:					
1250*	0,0154	0,0116	0,017	0,0172	0,016
1600	0,0133	0,0142	0,014	0,015	0,0137
ШРП:					
250	0,134	0,134	0,134	0,128	0,096
400	0,56	0,12	0,117	0,111	0,091
ШТР4, 100	0,263	0,266	0,261	0,248	0,18

* При спаренных шинопроводах ШМА4 потери снижаются примерно вдвое.

Таблица 3.22. **Рекомендуемые степени защиты электрооборудования в помещениях и установках**

Климатическая категория помещений и установок										
Наружные		4	4	4	4	3,5	5	3,4	4	4,5
1	2	Административные	Электротехнические	Производственные	Влажные	Сырые	Особо сырые	Пыльные	Жаркие	С химически активной средой
IP54	IP20	IP30	IP00	IP20	IP20	IP44	IP54	IP40	IP20	IP54

Как показывает проверка, соединение в цепочку в этом случае более двух двигателей одинаковой мощности недопустимо. Число электроприемников длительного режима работы (АС-1, АС-2, ДС-1, ДС-2 см. табл. 3.57) при питании в цепочку не ограничивается и определяется только условиями удобства эксплуатации и надежности.

Выбор коммутационно-защитных аппаратов, распределительных шкафов, щитов станций управления и т. п., если это электрооборудование не поставляется комплектно с двигателями и другими электроприемниками, должен, как указано в § 3.1, производиться в проекте электрооборудования. При выборе аппаратов необходимо учитывать те параметры, которые требуются для проектируемой установки, а именно: напряжение и частоту сети, ток электроприемника, режим его работы, включая количество циклов оперирования, электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ, необходимую коммутационную износостойкость и способность, климатические условия в районе строительства, а также допустимую степень защиты оболочки. Все перечисленные параметры приведены в таблицах гл. Е разд. 3. В табл. 3.22 рекомендованы допустимые степени защиты оболочек электрооборудования для административно-бытовых и производственных помещений и установок. При выборе аппаратов для эксплуатации в различных климатических районах в дополнение к выдержкам из ГОСТ 15150—69 * и ГОСТ 14255—69 *, приведенным в [52], следует учитывать разъяснения и общие указания, изложенные в § 3.20.

Для двигателей единой серии АИ, заменяющих серию 4А и 4АН, в табл. 3.23 сделан выбор пусковой и защитной аппаратуры для нормальных условий эксплуатации в режиме АС3. Если при проектировании типы и параметры двигателей неизвестны, рекомендуется принимать аппараты по табл. 3.24.

Учитывая высокую надежность предохранителей, обладающих к тому же токоограничивающей способностью, в проектах следует отдавать им предпочтение не только на небольших предприятиях, но также во всех вспомогательных цехах и объектах крупных промышленных предприятий. Предохранители должны иметь сигнализацию (контакт) сгорания плавкой вставки. При выборе тока плавкой вставки для защиты ответвлений к двигателям необходимо учитывать:

Таблица 3.23. **Выбор пусковой и защитной аппаратуры на ответвлениях к двигателям серии АИ в сети 380 В мощностью до 315 кВт**

Технические данные двигателей АИР			Аппарат на ответвлении к двигателю					
			защитный в начале ответвления			пусковой у двигателя		
$P_{ном}$, кВт	Габарит	$I_{ном}$, мнн	Предохранитель	Выключатели ВА51*[1]	Выключатели ВА55*[2]	Выключатели*[3] ВА51Г	Выключатели*[3] ВА53*[2]	Пускатели магнитные ПМЛ с реле РТЛ
0,06	50А4 50А2	0,28 0,32	ПРС-25*[4] 2	25*[5] 6,3	—	25*[5] 0,4	—	10—25*[6] 0,52
0,09	50В4	0,4						
0,12	50В2	0,29						
	50А4	0,37				0,5		
0,18	56А2	0,42				0,6		
	56В4	0,51				0,8		
	63А6	0,54						0,8
0,25	56В2	0,69						
	63А4	0,67				1,0		
	63В6 71В8	0,8 1,0	4					
0,37	63А2	1,0						1,3
	63В4 71А6 80А8	0,87 1,13 1,3				1,6		
0,55	63В2 71А4 71В6	1,5 1,68 1,7				2,0		2,0
0,75	80В8 71А2	1,75 2,1	6					
	71В4 80А6 90LA8	1,75 2,1 2,3						
1,1	71В2 80А4	2,53 2,5						3,2
	80В6 90LB8	2,7 3,1				3,15		
1,5	80А2 80В4	3,3 3,5				4,0		
	90L6 100L8	4,1 4,7				5,0		5,0
2,2	80В2 90L4	4,6 5,0	НПН2-60*[4] 15					
	100L6 112МА8	5,6 5,9				6,3		6,8
3	90L2	6,1	20					
	100S4 112МА6 112МВ8	6,7 7,07 7,4		8,0		8,0		
4	100S2	7,9	25					
	100L4 112МВ6 132S8	8,5 9,2 10,4		10		10		8,5

Продолжение табл. 3.23

Технические данные двигателей АИР			Аппарат на ответвлении к двигателю					
			защитный в начале ответвления			пусковой у двигателя		
$P_{ном}$, кВт	Габарит	$I_{ном}$, мин	Предохранитель	Выключатели		Выключатели*3		Пускатели магнитные ПМЛ с реле РТЛ
				ВА51*1	ВА55*2	ВА51Г	ВА53*2	
5,5	100L2	10,7	ПН2-100*4	12,5				25—25*6
	112M4	10,8	30					12
	132S6	11,7						
	132M8	13,0						
7,5	112M2	14,8	50	16	—	16	—	16
	132S4	15,2						
	132M6	16,5						
	160S8	17,5		20		20		
11	132M2	21,2	60	25		25		21,5
	132M4	22						
	160S6	23						
	160M8	25,5						
15	160S2	28,8	80	31		31		40—80*6
	160S4	28,7		31,5		31,5		35,5
	160M6	30,5						
	180M8	32,7						
18,5	160M2	35,0	100	40		40		—
	160M4	35,3						
	180M6	38,6						
	200M8	38,4						
22	180S2	42,5	ПН2-250	50		50		63—63*7
	180S4	42,3	120					40
	200M6	46,4						
	200L8	46,3						
	250S10	47,9						
30	180M2	57,5	200	63		63		63
	180M4	58,0						
	200L6	58,5	150					
	225M8	62,2						
	250S10	63,7						
37	200M2	69,5	200	80	—	80	—	100—100*7
	220M4	68,8						80
	225M6	72,8						
	250S8	78						
	250M10	78,3						
45	200L2	84,5	ПН2-250	31*5	31*5	31*5	37*5	100—100*7
	200L4	83	250	100	100	100	100	100
	250S6	87,3						
	250M8	94,0						
	280M10	95						
	315S12	100						
55	225M2	100						
	225M4	101						
	250M6	104	ПН2-400		128		128	
	280S8	105	300	33*5		33*5		160—160*7
	315S10	108,5		125		125		125
	315M12	122						
75	250S2	141	400	160	160	160	160	160
	250S4	138						
	280S6	137						

Продолжение табл. 3.23

Технические данные двигателей АИР			Аппарат на ответвлении к двигателю					
			защитный в начале ответвления			пусковой у двигателя		
$P_{ном}$, кВт	Габарит	$I_{ном}$, мин	Предохранитель	Выключатели ВА51*[1]	Выключатели ВА55*[2]	Выключатели*[3] ВА51Г	Выключатели*[3] ВА53*[2]	Пускатели магнитные ПМЛ с реле РТЛ
75	280М8	141	400	160	160	160	160	160
	315М10	149						
	355S12	164						—
90	250М2	166	—	35*[5]/200	200	—	200	
	250М4	154						
	280М6	164						
	315S8	173						
	355М10	179						
	355М12	195						
110	280S2	206						
	280S4	197						
	315S6	196						
	315М8	209						
	355М10	213		250	250		250	
132	280М2	247						
	280М4	228						
	315М6	238						
	355S8	252						
160	315S2	294		37*[5]/320	320		320	
	315S4	280						
	355S6	296						
	355М8	210						
200	315М2	365		400	400		400	
	315М4	353						
	355М6	360						
250	355S2	459		39*[5]/500	39*[5]/500		39*[5]/500	
	355S4	446						
315	355М2	561						
	355М4	550		630	630		630	

*[1] Если требуется более высокая коммутационная способность, то для двигателей 15 кВт и более вместо выключателей ВА51 и ВА51Г следует принимать выключатели ВА52 и ВА52Г.

*[2] Для крупных машин (55 кВт и более) целесообразно применять выключатели ВА53 и ВА55, которые, имея выдвижное исполнение, могут устанавливаться в шкафах КТП с автоматическим или дистанционным управлением из диспетчерского пункта. Выключатели ВА55 следует применять также в случаях необходимости селективного отключения.

*[3] При использовании выключателей в качестве пускового аппарата в сети 380 В должна учитываться их износостойкость, которая находится в следующих пределах при тысяче циклов ВО: ВА51Г — 25(50); ВА51,52 — 31(16,0); ВА51,52 — 33(6,3); ВА51 — 33, 37, 39(6,3); ВА52 — 35(4,0); ВА52 — 37, 39(2,0); ВА53,55 — 37, 39(1,6).

*[4] В числителе — тип и номинальный ток предохранителя, в знаменателе — ток плавкой вставки.

*[5] В числителе — условное обозначение номинального тока автоматического выключателя, А (25—250, 31—100, 33—160, 35—250, 37—400, 39—630), в знаменателе — номинальный ток расцепителя $I_{ном.р}$, А.

*[6] В числителе — номинальный ток пускателя и теплового реле, в знаменателе — среднее значение тока несрабатывания теплового элемента (см. табл. 3.74).

*[7] Для двигателей, начиная с 63 А (30 кВт) и выше, целесообразно применение пускателя ПМА с реле РТТ вместо ПМЛ. В ряде случаев может оказаться необходимым применение пускателей ПМЛ и для двигателей на 63 А и более. Значение тока теплового элемента см. в табл. 3.24.

Таблица 3.24. **Выбор пусковой и защитной аппаратуры на ответвлениях к асинхронным двигателям с КЗ ротором при напряжении сети 380 В**

Двигатель $P_{ном}$, кВт	Аппарат на ответвлении								
	защитный в начале ответвления				пусковой у двигателя				
					Выключатели			Пускатели магнитные	
	Предохранитель	Выключатели			ВА51Г	ВА52Г	ВА53	ПМЛ с реле РТЛ	ПМА с реле РТТ
		ВА51	ВА52	ВА55					
До 0,18	ПРС-25 / 2	25 / 6,3	—	—	25 / 0,4	—	—	10—25 / 0,52	—
0,25					1,0			0,8	
0,37	4				1,6			1,3	
0,55					2,0			2,0	
0,75	6				2,5				
1,1					3,15			3,2	
1,5	НПН2-60 / 10				5,0			5,0	
2,2	15				6,3				
3,0	20	8,0			8,0			6,8	
4,0	25	10			10			8,5	
5,5	ПН2-100 / 30	12,5			12,5			25—25 / 12	
7,5	50	20			20			16	
11,0	60	25			25			21,5	
15,0	80	31 / 31,5	31 / 31,5		31 / 31,5	31 / 31,5		40—80 / 35,5	40—40 / 32
18,5	100	40	40		40	40			40
22	ПН2-250 / 120	50	50		50	50		63—80 / 45	63—63 / 40
30	200	63	63		63	63		—	100—100 / 64
37	200	80	80		31 / 80	31 / 80			100—100 / 80
45	250	100	100		100	100			100
55	ПН2-400 / 300	33 / 125	33 / 125	37 / 100 (128)	160	33 / 125	37 / 100 (128)		160—160 / 125
75	400	160	160	160 (200)	—	160	160 (200)		160
90	—	35 / 200	35 / 200			—	160 (200)		—

Продолжение табл. 3.24

Двигатель $P_{ном}$, кВт	Аппарат на ответвлении								
	защитный в начале ответвления				пусковой у двигателя				
					Выключатели			Пускатели магнитные	
	Предохранитель	Выключатели			ВА51Г	ВА52	ВА53	ПМЛ с реле РТЛ	ПМА с реле РТТ
		ВА51	ВА52	ВА55					
110		—	250	200 (250)			200 (250)		
132			37/250	250 (320)			250		
160			320	320			320		
200			400	400			400		
250			39**/500	39/500			39/500		
315			630	630			630		

Примечания: 1. В столбце «Предохранитель» при первом написании в числителе приводится условное обозначение номинального тока предохранителя, в знаменателе — номинальный ток уставки расцепителя. При повторном написании числитель опускается.

2. В столбцах «Выключатели» в числителе приведен номинальный ток пускателя и теплового реле, в знаменателе — среднее значение тока несрабатывания теплового элемента.

3. В столбцах «Пускатели магнитные» для двигателей, начиная с 63 А (30 кВт) и выше, целесообразно применение пускателя ПМА с реле РТТ вместо ПМЛ. В ряде случаев может оказаться необходимым применение пускателей ПМЛ и для двигателей на 63 А и более.

а) к одиночным двигателям с короткозамкнутым ротором в режиме АС3, где небольшая частота включений и малая длительность разгона, А,

$$I_в \approx \frac{I_{ном} K}{2{,}5}; \qquad (3.1)$$

б) то же, но при нескольких двигателях, А,

$$I_в \approx \frac{I_р + I_{нб}(K-1)}{2{,}5}; \qquad (3.2)$$

в) то же, но при большом моменте инерции и соответственно длительном разгоне (например, вентиляторы с колесом большого диаметра), А,

$$I_в \approx \frac{I_{ном} K}{1{,}6 \div 2}; \qquad (3.3)$$

г) к одиночным двигателям повторно-кратковременного режима работы АС4, А,

$$I_в \approx \frac{I_{ном} K}{1{,}6}. \qquad (3.4)$$

В формулах (3.1) — (3.4): $I_{ном}$ — номинальный ток двигателя, А; K — кратность пускового тока двигателя; $I_р$ — расчетный ток группы двигателей, А; $I_{нб}$ — ток наибольшего в группе двигателя, А.

Таблица 3.23 составлена с некоторыми допущениями, лежащими в пределах точности расчетов и исходных данных:

а) температура окружающей среды — не выше 25 °С;

б) двигатели работают в длительном режиме с числом пусков не более 10—15 в час;

в) приведенные в таблицах результаты в отдельных случаях округлялись для плавких вставок, а также для расцепителей автоматических выключателей до ±5 %, для нагревательных элементов пускателей — до ±2 %.

Таблица 3.24 составлена с большими допущениями, как правило, по наименее благоприятным данным для каждой мощности двигателей.

Таблицы составлены для индивидуальных ответвлений к двигателям. Кроме того, следует иметь в виду, что в таблицах предусмотрено питание двигателей, работающих в режиме АС3. Для защиты двигателей, работающих в режиме АС4, применение тепловых реле исключается. В этом режиме могут применяться предохранители или реле максимального тока. В настоящее время начинает внедряться так

называемая позисторная защита с помощью датчиков, встраиваемых в обмотки электрических машин, которая может надежно работать в режиме АС4.

Выбор сечений и марки проводов и кабелей в зависимости от допустимой токовой нагрузки, способа прокладки и характеристики среды следует производить по данным, приведенным в разд. 2 настоящего справочника. Там же приведены подробные технические параметры шинопроводов, выпускаемых заводами Минмонтажспецстроя СССР.

При определении потери напряжения в сетях следует пользоваться вспомогательными таблицами, помещенными в гл. Ж разд. 2.

При решении вопросов, связанных с размещением пусковой и защитной аппаратуры, следует учитывать следующее:

а) если для двигателей или других электроприемников не предусматривается автоматизация или дистанционное управление, то пускозащитная аппаратура может располагаться непосредственно около электроприемника с питанием от ближайшего распределительного шкафа или распределительного шинопровода, где имеет место аппарат защиты ответвления. В таких случаях целесообразно для управления и защиты двигателей применять автоматические выключатели ВА51Г и ВА52Г вместо магнитных пускателей, учитывая, что допустимая частота включения автоматических выключателей не более 30 в час (табл. 3.64, 3.65). В начале ответвления при этом целесообразно установить предохранители, что позволит повысить надежность и удешевить электрооборудование.

Число двигателей, управляемых выключателями ВА51Г и ВА52Г, и их мощность при применении цепочки не ограничиваются;

б) при автоматизации управления электроприемниками, а также при дистанционном управлении пускозащитную аппаратуру следует располагать централизованно на комплектных щитах станций управления при размещении в специальном электропомещении и в шкафах при размещении в цехе.

Если в группе двигателей небольшой мощности, включаемых в автоматическую систему, имеется ограниченное число мощных двигателей (40—100 кВт и более в единице), следует рассматривать экономическую целесообразность питания этих двигателей непосредственно от КТП с передачей туда всех цепей управления и автоматики.

При построении схемы цехового электроснабжения для повышения ее надежности следует максимально ограничивать число ступеней защиты. Число ступеней защиты не должно превышать трех. На вводе в силовой пункт, распределительный шинопровод или другое распределительное устройство не следует предусматривать аппарат защиты, дублирующий защиту головного участка линии. В этих случаях в конце питающей линии, если в этом окажется необходимость, может быть предусмотрен рубильник для возможности аварийного отключения распределительного устройства. Не следует также устанавливать аппарат защиты при радиальном питании крупного электроприемника, дублирующего защиту головного аппарата линии.

Для создания рациональных и экономичных сетей важное значение имеет правильное решение компенсации реактивной мощности. В проектах необходимо применять синхронные двигатели напряжением 10 (6) кВ и 380—660 В, что может обеспечить высокий естественный коэффициент мощности.

Когда синхронные двигатели отсутствуют или их мощность недостаточна для обеспечения в сети необходимого коэффициента мощности, применяется установка в цехах комплектных конденсаторных батарей. Определение мощности конденсаторов, выбор вариантов размещения и типов компенсирующих устройств производятся по [52] с учетом руководящих указаний по компенсации реактивной мощности.

3.7. ТРОЛЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ

Питание двигателей мостовых кранов, кран-балок, тельферов и передаточных тележек может осуществляться при помощи троллейных линий жесткой конструкции (угловая сталь), троллейных шинопроводов или гибкого кабеля (провода).

Троллейные линии жесткой конструкции могут применяться в наружных установках и во всех производственных помещениях, кроме пожароопасных классов П-I и П-II, взрывоопасных всех классов и химических производств, в которых стальные конструкции в коррозийном отношении неустойчивы.

Для троллейных линий по экономическим показателям не следует применять угловую сталь бо́льших профилей, чем $63\times63\times6$. Если по расчетным условиям требуется большее сечение угловой стали, следует применять систему с дополнительной линией питания — так называемой подпиткой. В этом случае основную троллейную линию рекомендуется выполнять из угловой стали $50\times50\times5$ мм. Для линий подпитки следует ограничиваться алюминиевой лентой или шиной сечением 80×6 мм, укрепленной на стальной троллейной линии. Если применение алюминиевой подпитки недо-

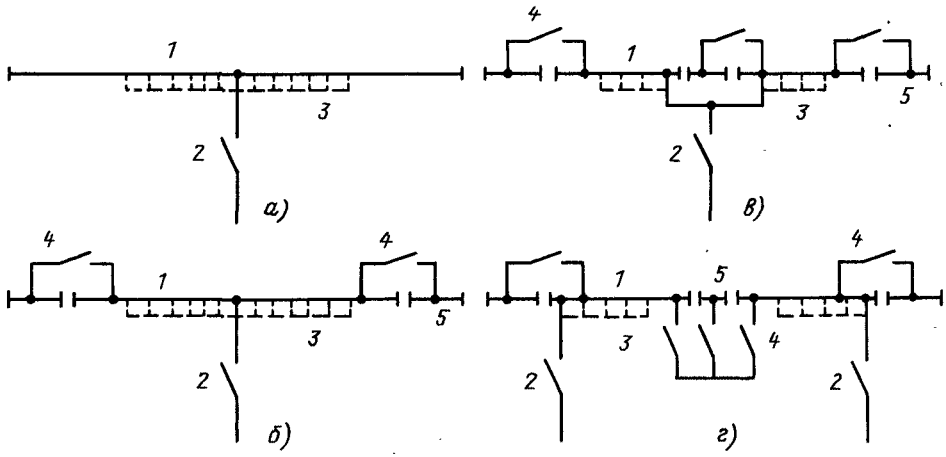


Рис. 3.4. Схемы питания и секционирования троллейных линий:
а — для одного крана; *б* — для двух кранов; *в* — для трех и более кранов; *г* — секционирование с питанием от двух источников и взаимным резервированием; *1* — троллейная линия; *2* — выключатель; *3* — подпитка; *4* — секционный выключатель; *5* — ремонтная секция

статочно по потере напряжения, рекомендуется выполнять подпитку проводом или кабелем (безындукционная подпитка).

При протяженной троллейной линии, питающей несколько мощных кранов с тяжелым режимом работы, рекомендуется применять схему питания троллея по рис. 3.4. Если же и такая схема не обеспечивает требуемый уровень напряжения троллейной линии, то допускается применение троллея из швеллерных или двутавровых балок с безындукционной подпиткой. Типы троллейных секций приведены в табл. 3.25.

Потеря напряжения в стальных троллеях без подпитки и с подпиткой, а также шаг присоединения безындукционной подпитки к троллею вычисляются в § 2.23.

Для питания кранов, кран-балок и других передвижных электроприемников кроме перечисленных выше жестких конструкций могут применяться комплектные троллейные шинопроводы заводского изготовления (см. § 2.15).

Шинопроводы ШТМ76 применяют в сборочных цехах для питания электрифицированного инструмента (дрелей, гайковертов и т. п.).

Шинопроводы ШТМ72 имеют медные шины и могут применяться в качестве троллейных для питания кранов в странах с тропическим климатом. Для предприятий, расположенных в других климатических зонах, следует применять шинопроводы ШТА75 с алюминиевыми шинами.

Троллейные трехпроводные шинопроводы серии ШТА следует применять для питания подъемно-транспортных механизмов в цехах с нормальной средой; в помещениях с улучшенной отделкой; в электротехнических помещениях, когда применение открытых троллеев недопустимо из-за стесненности или повышенной опасности поражения электрическим током.

Троллейные шинопроводы рекомендуется применять также в наружных установках (под навесом); для питания передвижного электроинструмента (троллейные четырехпроводные шинопроводы); для механизмов, движение которых осуществляется по направляющим (например, откатные ворота и т. п.). Могут использоваться как трехпроводные, так и четырехпроводные троллейные шинопроводы.

Допускается применять троллейные шинопроводы в пожароопасных зонах классов

Таблица 3.25. **Характеристики троллейных секций заводского изготовления**

Тип троллейной секции	Размеры угловой стали, мм	Размеры алюминиевой шины (подпитки), мм	Допустимая нагрузка, А
К580	50×50×5	—	315
К581		—	395
К582	50×50×5	40×5	540
К583		50×5	665
К584		60×6	870
К585		80×6	1150
К586	63×63×6	40×5	540
К587		50×5	665
К588		60×6	870
К589		80×6	1150

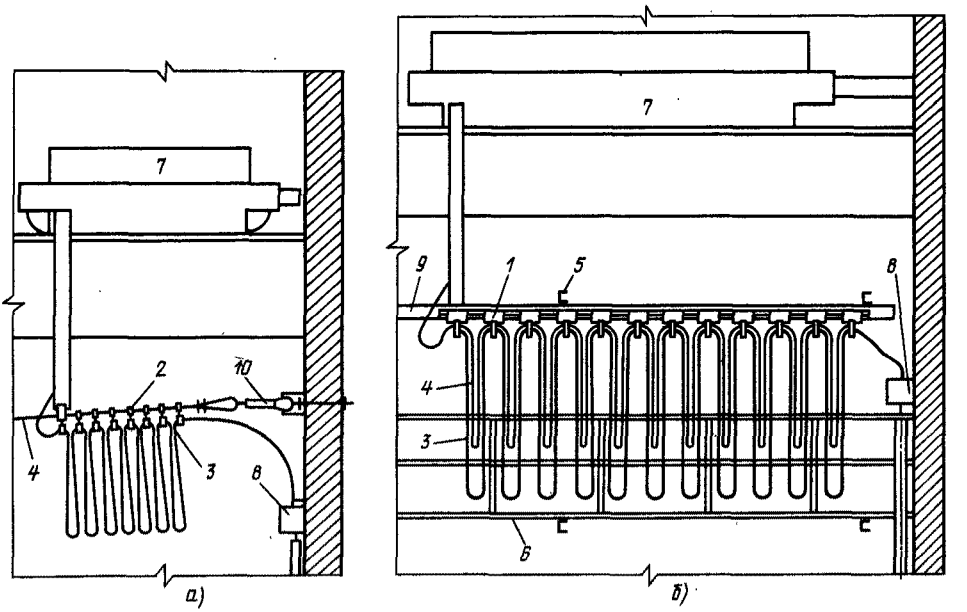


Рис. 3.5. Питанне передвижных механнзмов гибкнм кабелем:
а — иа подвижных скобках; *б* — на каретках; *1* — каретка; *2* — скобы для подвески кабеля; *3* — кабель гибкий марки КРПТ; *4* — струиа; *5* — коисоль; *6* — площадка обслуживаиия кабеля; *7* — краи; *8* — вводная коробка; *9* — балка двутавровая; *10* — иатяжиая муфта

П-IIа н П-III прн условии, что шинопроводы не должны располагаться над местами скоплення горючнх матерналов.

Троллейные шинопроводы имеют более высокую степень нндустриальной готовности, чем другне троллейные конструкцни.

Если по характернстике среды (пожароопасная, взрывоопасная) не могут быть применены троллейные линни нз угловой стали нли троллейные шинопроводы, подвод питання к крановым установкам должен осуществляться гибким шланговым кабелем. При большой протяженности крановых путей н мощных кранах гибкнй кабель крепится на каретках, перемещающнхся по специально проложенному вдоль подкранового путн монорельсу (рис. 3.5, *б*).

Гибкий шланговый кабель упрощенной конструкции на скобах, передвнгающнхся по стальному тросу (рис. 3.5, *а*), как простое и дешевое устройство должен применяться в любых средах, кроме взрывоопасных, для всех кранов, кран-балок и передаточных тележек прн длнне подкранового пути 36—42 м, еслн этому не препятствуют условия н строительные конструкцин.

Гибкие провода н кабели желательно прнменять с алюминиевыми жилами. В пожароопасных зонах классов П-I н П-II н во взрывоопасных зонах всех классов должны применяться кабели с медными жнлами.

В. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ

3.8. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЕЙ И АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Для пожаро- и взрывоопасных условий дается классификация взрывозащиты в зависимости от класса взрывоопасных зон, а также необходнмая степень защиты оболочки электрооборудования. Кроме того, для двигателей и аппаратов общего применения в табл. 3.26 и 3.27 дана классификация их по климатическим исполнениям, степени защиты н категории примеиения во всех средах, кроме взрывоопасных.

В соответствин с классификацней в табл. 3.28 дан выбор электрооборудования для административно-бытовых, пронзводственных помещений и наружных установок.

Таблица 3.26. **Классификация двигателей общего назначения по условиям защиты их от вредного воздействия окружающей среды**

Обозначения исполнения			Типы двигателей					
			Асинхронные			Синхронные		
№ исполнения	Степень защиты	Климатическая категория*1	с фазным ротором	с короткозамкнутым ротором		до 6 кВ	10 кВ	Постоянного тока
				до 6 кВ	10 кВ			
1	IP00	У4	АКН2, АТ20С*3	—	—	СДМП-2*2, СДН-2, СДСЗ*3, СДНЗ*2	СДНЗ*2, СДН	2МП
2		У3, Т3	АТ20С*3			—	—	
3			—			СДН, СДМ		—
4	IP10; IP11	У4, Т4	А2К			—		П2, МПС
5		У3, Т3	—	ДА4	ДА4	СДН2, БСДКМ*6		МА, П2П
6		У4		—	—	СДК2, ВСДН СДВ2[4], СДС-2	СДК2	—
7	IP12; IP13	У3, Т3	АКЗ*5	А3, АВ2	А3	—	—	
8	IP20; IP21		—	—	АД			МП2, П2
9	—	О4	АКД*7	АН2*3	—	СДСЗ*3, МС*3	СДСЗ*3, МС*3, СДС	—
		У4	АКН2	—		СДЗ-21*2	ДСЗ-21*2	
10	IP22	УХЛ2, Т2	—	2АРЛ, 2АРМ	2АРЛ, 2АРМ	СДЭ2 СДК-2, ВДС2*2	СДЭ2 СДК2, ВДС2*2	
11		У4, Т4				—	—	
12		У3		—	—			2ПФ

13		У4				СТД	СТД	—
14		У3, Т3		АВН3	АВН3	—	—	П2П
15	IP23		4АНК	4АН, А, ДА4	—			—
16		У1	АК4	А4				
17		В	—	4АВ				
18		У4, ТС2		—				(2ПН, 2ПФ)*[11]
19		У4	АКВ3	АИ		ВДС-2	ВДС-2	—
20		У4, Т4	—	А3, 4АРЛ, 4АРМ	4АРЛ, 4АРМ	СД—2*[8]	—	
21		У3, Т3		—	—	СДН2		
22	IP32					—		2МП
23	IP42	УХЛ3, Т3		2АЗЛ, 2АЗМ	2АЗЛ, 2АЗМ			
24		У4		АВ	—			
25	IP23	У3, Т3		—		СДН3-2	СДН3-2	
26		У4, Т4				СДС-3, ВДС-2, СТД	ВДС, ВДС-2, СТД, СДС-3	
27	IP44	У4	—	—		СДН3-2, СДМ3, СДМ3-2, СДС3	СДС3, СДМ3-2	ПБ2П, ПО2П
28		У1	АОК99	АВС3		—	—	—
29		У1, Т1	АОК, АОК2В	ВАСО, АО2*[10]	АО2*[10]			

Продолжение табл. 3.26

Обозначения исполнения			Типы двигателей					
			Асинхронные			Синхронные		
№ исполнения	Степень защиты	Климатическая категория*1	с фазным ротором	с короткозамкнутым ротором		до 6 кВ	10 кВ	Постоянного тока
				до 6 кВ	10 кВ			
30	IP44	У4, Т4		АО3, 4АЗЛ, 4АЗМ, АОВ2*10,*11		—	—	—
31		У2, Т2	4АК, 4АКЗ МТН, MTF	4А, МТКН, МТК1, 2АР, 2АРК, 2АРФ	—			
32		О2	—	—				2ПО, 2ПБ
33		У3, Т2		АР, АРК, АРФ				—
34		У3, Т3	АКНЗ-2 АКДЗ*7	4АА, АВМС, АНЗ-2*9, АДЗ, АОВ2*11, АИ, АВЗ-2 АНЗ-2*9, АВЗ-2, АОВ-2*10		—		
35		У1	—	ДАЗО4	ДАЗО4			
36 37	IP54	У2, Т2 О2		2АР, 2АРК, 2АРФ —	—			2ПБ*11, ПБ2П
38		У3, Т3				БСДКПМ*6, СДРЗ-14		—

*1 Климатнческая категорня изделия указана наиболее неблагоприятная. Подробнее о климатических условиях см. в тексте, § 3.20.
*2 Степень защиты указана по контактным кольцам, двигатель имеет степень защиты IP43.
*3 То же, но для двигателя степень защиты IP41.
*4 То же, но двигатель IP23.
*5 То же, но двигатель IP44.
*6 Типы БСДКМ и БСДКПМ на 380 В.
*7 Есть на 10 кВ.
*8 Есть на 380 В.
*9 Коробка ввода IP41.
*10 Крыльчатка вентилятора обдува IP20.
*11 Коробка ввода IP55.

Таблица 3.27. **Классификация электрических аппаратов общего назначения по условиям защиты их от вредного воздействия окружающей среды**

Обозначение исполнения			Типы аппаратов							
№ исполнения	Степень защиты	Климатическая категория*1	Рубильники, переключатели, предохранители, блоки, штепсельные разъемы	Переключатели, выключатели пакетные, кулачковые, универсальные	Выключатели, автоматические*3	Ящики однолинейные с рубильниками, предохранителями, выключателями	Контакторы, пускатели магнитные и ручные	Выключатели путевые, командоаппараты, датчики	Кнопки, кнопочные посты, светосигнальная арматура*3	Силовые шкафы*3, шинопроводы
1	IP00	У2, Т2	—	—	—	—	ПНВ, ПНВС	ВП19	—	—
2		О4					ПМА	—		
3		У3	БПВ				КТ64, КТП64, КТ65, КТП65			
4		О3	ПП17, НПН2	ПКУ3*10, ПВП11	ВА75		ПМЛ			
5		УХЛ3, Т3	ПН2, ПРС, ПП57*5, ППТ, (РЕ11, ВР32)*2, ПП31	ПП, ПВ, УП5300*6	—		МК, КТ6000, КТП6000, КТ6000/0, КТ6000/00, КТП6000/00			
6	IP00	У3, О4	ПДС	—		—	—			—
7		О4,5	РЕ11*8					ВПК2000А		
8	IP20	РШ3, РШ01, ШРС						—		
9		У2, Т2	—				ПНВ, ПНВС			ШТР4—100*9
10		У3, Т3	РШ12		ВА14*4					

Продолжение табл. 3.27

Обозначение исполнения			Типы аппаратов							
№ исполнения	Степень защиты	Климатическая категория*[1]	Рубильники, переключатели, предохранители, блоки, штепсельные разъемы	Переключатели, выключатели пакетные, кулачковые, универсальные	Выключатели, автоматические*[3]	Ящики однолинейные с рубильниками, предохранителями, выключателями	Контакторы, пускатели магнитные и ручные	Выключатели путевые, командоаппараты, датчики	Кнопки, кнопочные посты, светосигнальная арматура*[3]	Силовые шкафы*[3], шинопроводы
11		Т3	—		—					ШМА68—Н
12		УХЛ3, Т3			(ВА51, ВА52, ВА53, ВА54, ВА55, ВА56)*[10]					
13		У4, Т3			ВА16					—
14	IP21	У2			—					—
15		УХЛ2, Т2						КК8000, ЭК8000, ККП1000		—
16		У3						—		ПР85, ПР87
17	IP22									ШРС*[3]
18		У4, Т4								ШР11
19	IP23	УХЛ1,5, Т1,5	РШ15	—	—	—	—	—	—	—
20	IP30	У3, Т3		ПКУ3*[5], ПВП11						
21	IP32	УХЛ1,5, Т1,5		—		ЯРП*[8]				ШРА4

22		У3			—				ШРА-73В, ШРМ-75
23	IP40	У2, Т2	РЕ19			ПНВ, ПНВС			—
24		У3, Т3	—			ПМА			
25		УХЛ3, Т3				—	(МП1000Л, МП2000Л)*6	(КЕ, КМЕ, ПКУ, ПЕ, ПКЕ)*5	
26		УХЛ3,5; Т3,5					—	ПЕ191*8	
27		О4,5	РЕ11*8					—	
28	IP41	У3	—						
29		У4			Я5000				—
30	IP43	УХЛ1,5; Т1,5	РШ15		—	—	—		—
31 32	IP44 IP45	У3 УХЛ3,5; Т3,5	—					АС	ШМА4 ШМАД
33		У2, Т2			ЯВШ*6			—	
34	IP54				—	ПМЛ	ПДФ3	ПКЕ	
35		УХЛ2, Т2		ПКП*8	ЯВЗШ, ЯВЗ	ПМА	ВП15Д	ПКУ15	ПР85, ПР87
36		У3		—	ЯБ1, ЯБПВУ	—	—	—	ШРС*3, ШРП

Продолжение табл. 3.27

Обозначение исполнения			Типы аппаратов							
№ исполнения	Степень защиты	Климатическая категория*[1]	Рубильники, переключатели, предохранители, блоки, штепсельные разъемы	Переключатели, выключатели пакетные, кулачковые, универсальные	Выключатели, автоматические*[3]	Ящики однолинейные с рубильниками, предохранителями, выключателями	Контакторы, пускатели магнитные и ручные	Выключатели путевые, командоаппараты, датчики	Кнопки, кнопочные посты, светосигнальная арматура*[3]	Силовые шкафы*[3], шинопроводы
37		УХЛ3				ЯРШ3				
38		УХЛ3.1				—		ПДФ5		
39		УХЛ1,5; Т1,5				РУС, ЯРП*[8]				—
40		У1	—	ПКУ3-54*[8]		ЯРВ*[11, *6]		—		—
41		У2		—		—				ШР11
42		У2, Т2						ВПФ11*[5]		—
43		УХЛ2,5; Т2,5		ПКУ3-54,58*[8]				—		—
44		ХЛ3		—				ВПФ11*[5]		
45		О4,5	РШ12					—		
46	IP55	У1	—	ПВП11	—	—	—	—	—	
47		УХЛ2, Т2		УП5400*[7]				ВП16, ВПК2000А		

48		У3, Т3	—	ЯВП	—	
49		У2,5; Т2,5	ПВП11			
50		УХЛ3, Т3	—		БВП15*[6]	
51	IP56	УХЛ1,5; Т1,5	ПП, ПВ*[8]		—	
52	IP65	У1, Т1	ПКУ3			
53		УХЛ1,5; Т1,5	—			АЕР*[8]
54		УХЛ2, Т1				АС
55		УХЛ2, Т2				АЕ, АМЕ
56	IP67	УХЛ1,5; Т1,5	ПП, ПВ*[8]			—
57		У2, Т2	—		ВП19	

*[1] Климатическая категория изделия указана наиболее неблагоприятная.
*[2] Рубильники и переключатели в зависимости от вида привода изготовляют с боковой или центральной рукоятками, с боковым или центральным приводом, а также для управления штангой. Эти исполнения входят в обозначения по техническим условиям (ТУ).
*[3] Выключатели автоматические со степенью защиты IP20, IP30 со стороны контактов имеют IP00. Шкафы распределительные или ящики при открытых дверцах имеют степень защиты IP00 или IP20 (подробнее см. табл. 3.88, 3.90).
[4] Допустимое для изделия нижнее рабочее значение температуры среды — не ниже —20 °С. Если допустимое для изделия нижнее значение температуры соответствует ГОСТ 15150—69, то в таблице сноска отсутствует.
*[5] То же, но не ниже —40 °С.
*[6] То же, но от +1 до —10 °С.
*[7] То же, —30 °С.
*[8] Имеется химостойкое исполнение.
*[9] Степень защиты со стороны токоприемной щели IP12.
*[10] Нижнее значение температуры —50 °С.

Таблица 3.28. **Выбор двигателей и аппаратов управления общего назначения в зависимости от климатического исполнения, степени защиты и характеристики среды помещений и установок. Умеренный, холодный и тропический климат**

№ исполнения по табл. 3.26, 3.27	Характеристика помещений и установок по условиям среды. Климатическое исполнение																			
	Наружные установки								Внутренние установки											
	нормальные				пожароопасные класса П-III				административные, бытовые	производственные	электротехнические	влажные	сырые	особо сырые	жаркие	пыльные	химически вредные	пожароопасные классов П-I, П-II, П-IIa
	У	ХЛ	У	ХЛ	У	ХЛ	У	ХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ
Двигатели (табл. 3.26)																		
1, 4*[1], 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[2]	+	+*[2]	—	—	+*[2,4]	—	—	—
2*[1], 3*[1], 5*[1], 7*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[2]	+	+*[2]	+	—	+*[2,4]	—	—	—
8*[1], 12, 14, 15*[1], 21*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+*[4]	—	—	—
9*[1], 11*[1], 13, 18*[1], 19, 20*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
17*[1], 16	+	—	+	—	—	—	—	—	+*[6]	+*[6]	—	+	+	—	+*[4]	—	—	—
22*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	+*[6]	—	+	+	—	+*[4]	—	—	—
23*[1], 25*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	+	+	—	+*[4]	+	—	—
24, 26*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+*[6]	—	+*[6]	—	—	+*[4]	+	—	—
27, 30*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	+	—	+*[6]	—	—	+*[6]	+	—	+
28, 29*[1], 35	+	—	+	—	+	—	+	—	—	+*[6]	—	+	+	—	—	+	—	+
31*[1], 32*[1], 33, 34*[1]	—	—	+	—	—	—	+	—	—	+*[6]	—	+*[6]	+	—	—	+	—	+
36*[1], 37*[1], 38	—	—	+	—	—	—	+	—	—	+*[6]	—	+*[6]	+	+	—	+	+	+*[6]
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	—	+*[6]	+	+	—	+*[6]	+	+*[6]
Электрические аппараты (табл. 3.27)																		
1*[1]	—	—	+[1]	—	—	—	—	—	+*[2]	+*[2]	+	+*[2]	+*[2]	—	+*[2,4]	—	—	—
2, 6*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[2]	+*[2]	+	+*[2]	+*[2]	—	+*[2,4]	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[2]	+*[2]	+	+*[2]	+*[2]	—	+*[2,4]	+*[2]	—	—
3, 4*[1], 5*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[2]	+*[2]	+	+*[2]	—	—	+*[2,4]	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	+*[4]	—	+*[3]	—
9*[1], 14	—	—	+	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	+*[4]	+*[5]	—	+*[9]
10*[1], 11*[1], 13*[1], 16, 17, 18*[1], 20, 22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	+*[4]	—	—	+*[9]
12*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	+*[4]	—	—	—
15*[1]	—	—	+	+	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	+*[4]	—	—	—
19*[1], 21*[1]	+	+	+	+	—	—	—	—	—	+*[6]	—	+	+	+	—	+*[7]	+*[3]	—
23*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	—	+*[6]	+	—	—	+*[7]	+*[3]	+*[5]
24*[1], 25*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	—	+*[6]	—	—	+*[6]	+	+*[3]	+*[5]
29	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	+	—	—	+	—	—	+*[5]
28, 31, 36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+	—	+*[4]	+	—	+*[5]
26*[1], 32*[1], 27*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[8]	—	+*[8]	+*[8]	+	+*[8]	+*[8]	+*[8]	+*[5]
30*[1], 39*[1]	+	+	+	+	+*[5]	+*[5]	+	+	—	+*[6]	—	+	+	+	—	+	+	+
33*[1], 34*[1], 35*[1]	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	+	—	+
37, 38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+	—	+
40, 46, 52*[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+	—	—	+	—	+
41, 42*[1], 47*[1], 57*[1]	—	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	+	—	+

Продолжение табл. 3.28

№ исполнения по табл. 3.26, 3.27	Характеристика помещений и установок по условиям среды. Климатическое исполнение																		
	Наружные установки								Внутренние установки										
	нормальные				пожароопасные класса П-III				административные, бытовые	производственные	электротехнические	влажные	сырые	особо сырые	жаркие	пыльные	химически вредные	пожароопасные классов П-I, П-II, П-IIa	
	У	ХЛ	У	ХЛ	У	ХЛ	У	ХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	УХЛ	
39*[1], 51*[1], 53*[1], 56*[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+*[8]	+*[8]	—	+*[8]	+	+*[8]	
43*[1], 49*[1], 54*[1], 55*[1]	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—	+*[8]	+*[8]	—	+*[8]	+	+*[8]	
44, 50*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	—	+*[6]	
45*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+*[6]	—	+	
48*[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+*[6]	—	+*[6]	

Условные обозначения: — — запрещено или применение нецелесообразно; + — допускается или рекомендуется.

*[1] Имеется тропическое исполнение.

*[2] При условии ограждения или размещения в изолированных помещениях, доступных только обслуживающему персоналу, или в шкафах со степенью защиты не ниже IP20.

*[3] Изоляция и детали должны быть влагостойкими и защищены от коррозии.

*[4] Необходимо учитывать повышенную температуру среды.

*[5] Если удовлетворяет степень защиты от проникновения воды.

*[6] Может применяться, если отсутствует более простое изделие.

*[7] При непроводящей пыли и ограничением ее количестве в зоне оборудования.

*[8] Применять только при требовании химической стойкости.

*[9] Только для шинопроводов.

3.9. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ И ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОН

УРОВНИ И ВИДЫ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

1. Во взрывоопасных зонах (в помещениях и наружных) в зависимости от класса зоны применяется электрооборудование как взрывозащищенное, так и общего назначения.

Электрооборудование называется взрывозащищенным, если в нем предусмотрены меры и средства взрывозащиты, устраняющие или затрудняющие воспламенение окружающих взрывоопасных смесей от возникающих в электрооборудовании опасных электрических искр, дуг и нагрева.

Электрооборудованием общего назначения называется электрооборудование, выполненное в соответствии с ГОСТ 14254—80, в котором не предусмотрены специальные меры и средства взрывозащиты.

2. Взрывозащищенное электрооборудование в соответствии с ГОСТ 12.2.020—76 * имеет различные уровни и виды взрывозащиты.

По уровню взрывозащиты электрооборудование разделяют на:

электрооборудование повышенной надежности против взрыва, в котором предусмотрены меры и средства, затрудняющие возникновение опасных искр, электрических дуг и нагрева и обеспечивающие взрывозащиту только в режиме нормальной работы электрооборудования;

электрооборудование взрывобезопасное, в котором предусмотрены меры и средства защиты от воспламенения окружающих взрывоопасных смесей возникающими в электрооборудовании электрическими искрами, дугами и нагревом, обеспечивающие взрывобезопасность электрооборудования как при нормальной его работе, так и при вероятных повреждениях;

электрооборудование особовзрывобезопасное, в котором по отношению к взрывобезопасному электрооборудованию приняты дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартами на виды взрывозащиты.

Взрывозащита каждого уровня обеспечивается соответствующим видом взрывозащиты.

Электрооборудование повышенной надежности против взрыва обеспечивается одним из следующих видов взрывозащиты:

а) искробезопасной электрической цепью (защита вида i) — только в нормальном режиме работы электрооборудования;

б) продуванием под избыточным давлением чистым воздухом или инертным газом (защита вида p) с устройством сигнализации о недопустимом снижении давления воздуха или инертного газа;

в) принятием для защиты электрооборудования общего назначения, не имеющего нормально искрящих частей, наряду с используемыми уже защитными мерами дополнительных мер, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг (защита вида e).

Электрооборудование взрывобезопасное обеспечивается одним из следующих видов взрывозащиты:

а) взрывонепроницаемой оболочкой (защита вида d), предотвращающей передачу взрыва наружу при воспламенении попавшей внутрь оболочки взрывоопасной смеси;

б) заполнением или продувкой оболочки под избыточным давлением чистым воздухом или инертным газом (защита вида p) с автоматическим отключением от источников электроснабжения при недопустимом снижении давления воздуха или инертного газа;

в) заполнением оболочки с токоведущими частями маслом или жидким диэлектриком (защита вида o);

г) заполнением оболочки с токоведущими частями кварцевым песком (защита вида q);

д) искробезопасной электрической цепью (защита вида i) в нормальном, а также в аварийном режимах работы при двух повреждениях, если в искробезопасной цепи имеются скрытые искрящие контакты, или при одном повреждении, если нормально искрящие контакты отсутствуют;

е) специальными средствами, основанными на принципах, отличающихся от перечисленных выше, но призванных достаточными для обеспечения взрывозащиты (защита вида s).

Электрооборудование особовзрывобезопасное обеспечивается одним из следующих видов взрывозащиты:

а) искробезопасной электрической цепью (защита вида i) при любом повреждении любых элементов системы, за исключением искробезопасных защитных элементов;

б) специальными средствами, основанными на принципах, отличающихся от перечисленных выше, но признанных достаточными для обеспечения взрывозащиты (защита вида s).

При любом уровне взрывозащиты электрооборудования, кроме основных видов взрывозащиты, допускается применять сочетания видов взрывозащиты разных уровней.

Так, например, в электрооборудовании повышенной надежности против взрыва может быть применено сочетание защиты вида e и взрывонепроницаемой оболочки, искробезопасной электрической сети и взрывонепроницаемой оболочки.

Во взрывобезопасном электрооборудовании может быть применено сочетание специ-

Таблица 3.29. **Категории взрывоопасных парогазовоздушных смесей**

Категория взрывоопасной смеси	Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм
По ГОСТ 12.2.020—76*	
1	Более 0,9
2	0,5—0,9
3	Менее 0,5
По ПИВРЭ 1969 г.	
1	Более 1,0
2	0,65—1,0
3	0,35—0,65
4	0,35 и менее

Таблица 3.30. **Температурные классы предельной температуры нагрева взрывозащищенного электрооборудования и группы взрывоопасных парогазовоздушных смесей**

Температурный класс электрооборудования	Предельная температура нагрева, °С
По ГОСТ 12.2.020—76*	
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Группа взрывоопасной смеси	Температура самовоспламенения смеси, °С
По ПИВРЭ 1969 г.	
T1	Выше 450
T2	300—450
T3	200—300
T4	135—200
T5	100—135

Таблица 3.31. **Примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования**

Электрооборудование по уровню взрывозащиты	Вид взрывозащиты	Группа или подгруппа (категория) и температурный класс	Маркировка по	
			ГОСТ 12.2.020—76*	ПИВРЭ
Повышенной надежности против взрыва	Защита вида е	Группы II, температурный класс Т6	2ExeIIT6	Н4Т5 (Н)
	Защита вида е и взрывонепроницаемая оболочка	Категория 2, температурный класс Т3	2ExedIIBT3	Н2Т3 (Н)(В)
	Искробезопасная электрическая цепь	Подгруппа IIC, температурный класс Т6	2ExiIICT6	Н3Т5 (И)
	Продувание оболочки под избыточным давлением	Группа II, температурный класс Т6	2ExpIIT6	Н4Т5 (П)
	Искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIB, температурный класс Т5	2ExdiIIBT5	Н2Т5 (И)(В)
Взрывобезопасное	Взрывоипроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс Т3	1ExdIIAT3	В1Т3 (В)
	Искробезопасная электрическая цепь	Подгруппа IIC, температурный класс Т6	1ExiIICT6	В3Т5 (И)
	Продувание оболочки под избыточным давлением	Группа II, температурный класс Т6	1ExpIIT6	В4Т5 (П)
	Масляное заполнение оболочки	Группа II, температурный класс Т6	1ExqIIT6	В4Т5 (М)
	Кварцевое заполнение оболочки	То же	1ExqIIT6	В4Т5 (К)

Продолжение табл. 3.31

Электрооборудование по уровню взрывозащиты	Вид взрывозащиты	Группа или подгруппа (категория) и температурный класс	Маркировка по	
			ГОСТ 12.2.020—76*	ПИВРЭ
Взрывобезопасное	Специальный	Группа II, температурный класс Т6	1ExsIIT6	В4Т5 (С)
	Специальный и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс Т6	1ExsdIIAT6	В1Т5 (С) (В)
	Специальный, искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIB, температурный класс Т4	1ExsidIIBT4	В3Т4 (С) (И) (В)
Особовзрывобезопасное	Искробезопасная электрическая цепь	Подгруппа IIC, температурный класс Т5	0ExiIICT5	03Т5 (И)
	Искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс Т4	0ExidIIAT4	01Т4 (И) (В)
	Специальный и искробезопасная электрическая цепь	Подгруппа IIC, температурный класс Т4	0ExsiICT4	03Т4 (С) (И)
	Специальный	Группа II, температурный класс Т4	0ExsIIT4	04Т4 (С)

ального вида взрывозащиты и взрывонепроницаемой оболочки; спецнального вида взрывозащиты, искробезопасной цепи и взрывонепроницаемой оболочки.

В особовзрывобезопасном электрооборудовании может быть применено сочетание искробезопасной и взрывонепроницаемой оболочки, специального вида взрывозащиты и искробезопасной электрической цепи.

3. До введения в действие ГОСТ 12.2.020—76* «ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Классификация» взрывозащищенное электрооборудование изготовлялось в соответствии с правилами изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИВРЭ). Согласно ПИВРЭ взрывозащищенное электрооборудование также разделяется по уровню и виду взрывозащиты, определение которых мало отличается от определений по ГОСТ 12.2.020—76 *.

4. В зависимости от условий передачи взрывов через фланцевые зазоры в стандартной оболочке взрывонепроницаемого электрооборудования и безопасного экспериментального максимального зазора взрывоопасные газопаровоздушные смеси разделяются на категории согласно данным табл. 3.29.

5. В зависимости от температуры само-

воспламенения парогазовоздушной смеси по ГОСТ 12.2.020—76 * установлены шесть температурных классов предельной температуры нагрева поверхностей взрывозащищенного электрооборудования, а по ПИВРЭ — пять температурных групп взрывоопасных смесей согласно данным табл. 3.30.

6. В отличие от ПИВРЭ взрывозащищенное электрооборудование по ГОСТ 12.2.020—76 * подразделяется на группы I и II. К группе I относится рудничное взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для подземных выработок шахт и рудников, опасных по газу и пыли. К группе II относится взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки, кроме рудничного взрывозащищенного. В настоящем справочнике рассматривается электрооборудование только группы II.

Электрооборудование группы II, имеющее взрывонепроницаемую оболочку и (или) искробезопасную электрическую цепь, подразделяется на подгруппы IIA, IIB и IIC. К подгруппе IIA относится электрооборудование с экспериментальным максимальным зазором более 0,9 мм (для работы во взрывоопасных смесях категории I); к подгруппе IIB относится электрооборудование с зазором 0,5 — 0,9 мм (для работы во взрывоопасных смесях категории 2); к подгруппе IIC относится электрооборудование с зазором менее 0,5 мм (для работы во взрывоопасных смесях категории 3).

7. Взрывозащищенное электрооборудование снабжается маркировкой, которая выполняется на видном месте оболочки рельефнымн знаками нли на таблнчке. Маркировка взрывозащиты по ГОСТ 12.2.020—76 * выполняется условными латинскими буквами в виде цельного не разделенного на части знака; маркировка по ПИВРЭ выполняется условными русскими буквами в прямоугольной и круглой рамках. Маркировка выполняется в следующей последовательности:

	По ГОСТ 12.2.020—76*	По ПИВРЭ
Знак уровня взрывозащиты:		
электрооборудования повышенной надежности против взрыва . .	2	Н
взрывобезопасного электрооборудования	1	В
особовзрывобезопасного электрооборудования	0	—
электрооборудования взрывобезопасного при любом количестве повреждений	—	0

Продолжение вывода

Знак, учитывающий, что электрооборудование соответствует ГОСТ 12.2.020—76* и стандартам на внды взрывозащиты . . .	Ex	—
Знак вида взрывозащиты:		
взрывонепроннцаемая оболочка	d	В
нскробезопасная электрическая цепь . .	i	И
защита вида е (повышенная надежность протнв взрыва) . . .	e	Н
масляное заполнение оболочки	o	М
кварцевое заполнение оболочки	q	К
продувание под избыточным давлением чистым воздухом или инертным газом . . .	p	П
специальный вид взрывозащиты . . .	s	С
Знак группы или подгруппы (категории) электрооборудования:		
не подразделяющегося на подгруппы . .	II	—
подразделяющегося на группы (указывается один из знаков) . .	IIA, IIB, IIC	—
категория взрывоопасиой смеси . . .	—	1, 2, 3, 4
Знак температурного класса электрооборудования нли группы взрывоопасной смеси	T1, T2, T3, T4, T5, T6	T1, T2, T3, T4, T5

В табл. 3.31 приведены примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования.

ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. Электрооборудование, особенно с частями, искрящими прн нормальной работе, рекомендуется выносить за пределы взрывоопасных зон, если это не вызывает особых затруднений при эксплуатацни и не сопряжено с неопределенными затратами. В случае установки электрооборудования в пределах взрывоопасной зоны оно должно удовлетворять требованиям настоящей главы.

2. Примененне во взрывоопасных зонах переносных электроприемников (машин, аппаратов, светнльников и т. д.) следует ограничи-

вать случаями, когда их применение необходимо для нормальной эксплуатации.

3. Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в химически активных, влажных или пыльных средах, должно быть также защищено соответственно от воздействия химически активной среды, сырости и пыли.

4. Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в наружных установках, должно быть пригодно также и для работы на открытом воздухе или иметь устройство для защиты от атмосферных воздействий (дождя, снега, солнечного излучения и т. п.).

5. Электрические машины с защитой вида е допускается устанавливать только на механизмах, где они не будут подвергаться перегрузкам, частым пускам и реверсам. Эти машины должны иметь защиту от перегрузок с временем срабатывания не более времени, в течение которого электрические машины нагреваются пусковым током от температуры, обусловленной длительной работой при нормальной нагрузке, до предельной температуры согласно табл. 3.30.

6. Электрические машины и аппараты с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» в средах со взрывоопасными смесями категории IIC должны быть установлены так, чтобы взрывонепроницаемые фланцевые зазоры не примыкали вплотную к какой-либо поверхности, а находились от нее на расстоянии не менее 50 мм.

7. Взрывозащищеиное электрооборудование, выполненное для работы во взрывоопасной смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом, сохраняет свои свойства, если находится в среде с взрывоопасной смесью тех категорий и группы, для которых выполнена его взрывозащита, или находится в среде с взрывоопасной смесью, относящейся к менее опасным категориям и группам.

8. При установке взрывозащищенного электрооборудования с видом взрывозащиты «заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением» должна быть выполнена система вентиляции и контроля избыточного давления, температуры и других параметров, а также должны быть осуществлены все мероприятия в соответствии с требованиями ГОСТ 22782.4—78 * и инструкциями по монтажу и эксплуатации на конкретную электрическую машину или аппарат. Кроме того, должны быть выполнены следующие требования:

конструкция фундаментных ям и газопроводов защитного газа должна исключать образованне в них непродуваемых зон (мешков) с горючими газами или парами ЛВЖ;

приточные газопроводы к вентиляторам, обеспечивающим электрооборудование защитным газом, должны прокладываться вне взрывоопасных зон;

газопроводы для защитного газа могут прокладываться под полом помещений, в том числе и со взрывоопасными зонами, если приняты меры, исключающие попадание в эти газопроводы горючих жидкостей;

в вентиляционных системах для осуществления блокировок, контроля и сигнализации должны использоваться аппараты, приборы и другие устройства, указанные в инструкциях по монтажу и эксплуатации машины, аппарата. Замена их другими изделиями, изменение мест их установки и подключение без согласования с заводом-изготовителем машины, аппарата не допускаются.

9. Электрические аппараты с масляным заполнением оболочки с токоведущими частями допускается применять на механизмах в местах, где отсутствуют толчки или приняты меры против выплескивания масла из аппарата.

10. Во взрывоопасных зонах классов B-II и B-IIa рекомендуется применять электрооборудоваиие, предиазначенное для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом.

При отсутствии такого электрооборудования допускается во взрывоопасных зонах класса B-II применять взрывозащищеиное электрооборудоваиие, предназначенное для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом, а в зонах класса B-IIa — электрооборудование общего назначения (без взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли.

Примеиение взрывозащищенного электрооборудования, предназначенного для работы в средах взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом, и электрооборудования общего назначения с соответствующей степенью защиты оболочки допускается при условии, если температура поверхности электрооборудования, на которую могут осесть горючие пыль или волокна (при работе электрооборудования с номинальной нагрузкой и без наслоения пыли), будет не менее чем на 50 °С ниже температуры тления пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры самовоспламенения для нетлеющих пылей.

11. Выбор электрооборудования для работы во взрывоопасных зонах должен производиться по табл. 3.32.

При выборе электрооборудования для взрывоопасных зон следует иметь в виду следующее:

При необходимости допускается обосно-

Таблица 3.32. **Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрооборудования (стационарного и передвижного) в зависимости от класса взрывоопасной зоны**

Класс взрывоопасной зоны	Исполнение электрооборудования
	Электрические машины
В-I	Взрывоопасное
В-Iа, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключеиы в оболочку также со степенью защиты ие менее IP44
В-II	Взрывоопасное
В-IIа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты IP54*. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты IP54*
	Электрические аппараты и приборы в стационарных установках
В-I	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-Iа, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва — для аппаратов и приборов, искрящих или подверженных нагреву до 80 °С Без средств взрывозащиты — для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С. Оболочка со степенью защиты не менее IP54**
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44**
В-II	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-IIа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54**
	Электрические аппараты и приборы в установках передвижных или являющихся частью передвижных и ручных переносных
В-I, В-Iа	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-IIа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54**

Продолжение табл. 3.32

Класс взрывоопасной зоны	Исполнение электрооборудования
	Электрические стационарные светильники
В-I	Взрывобезопасное
В-Iа, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53**
В-II	Повышенной надежности против взрыва
В-IIа	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53**
	Электрические переносные светнльники
В-I, В-Iа	Взрывобезопасное
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасное
В-IIа	Повышенной надежности против взрыва

* До освоения электропромышленностью машнн со степенью защиты оболочки IP54 разрешается применять машины со степенью защиты оболочки IP44.

** Степень защиты оболочки от проникиовения воды (2-я цифра в обозначенин) допускается изменять в зависимости от условий среды, в которой устанавливается электрооборудование.

Обозначение группы (подгруппы) электрооборудования с видами взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и (или) «искробезопасная электрическая цепь»	Категория взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
П	ПА, ПВ И ПС
ПА	ПА
ПВ	ПА И ПВ
ПС	ПА, ПВ И ПС

Обозначение температурного класса электрооборудования	Группа взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
Т1	Т1
Т2	Т1, Т2
Т3	Т1—Т3
Т4	Т1—Т4
Т5	Т1—Т5
Т6	Т1—Т6

ванная замена электрооборудования, указанного в табл. 3.32, электрооборудованием с более высоким уровнем взрывозащиты и более высокой степенью защиты оболочки. Например, вместо электрооборудования уровня «повышенная надежность против взрыва» может

быть установлено электрооборудование уровня «взрывобезопасное» или «особовзрывобезопасное».

В зонах, взрывобезопасность которых определяется горючими жидкостями, имеющими температуру вспышки выше 61 °С, может применяться любое взрывозащищенное электрооборудование для любых категорий и групп с температурой нагрева поверхности, не превышающей температуру самовоспламенения данного вещества.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Во взрывоопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины с классом напряжения до 10 кВ при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты оболочки по ГОСТ 17494—87 соответствуют табл. 3.32 или являются более высокими.

Если отдельные части машины имеют различные уровни взрывозащиты или степени защиты оболочек, то все они должны быть не ниже указанных в табл. 3.32.

Для механизмов, установленных во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа и В-II, допускается применение электродвигателей без средств взрывозащиты при следующих условиях:

электродвигатели должны устанавливаться вне взрывоопасных зон. Помещение, в котором устанавливаются электродвигатели, должно отделяться от взрывоопасной зоны несгораемой стеной без проемов и несгораемым перекрытием (покрытием) с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч, иметь эвакуационный выход и быть обеспеченным вентиляцией с пятикратным обменом воздуха в час;

привод механизма должен осуществляться при помощи вала, пропущенного через стену с устройством в ней сальникового уплотнения.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ

Во взрывоопасных зонах могут применяться электрические аппараты и приборы при условиях, что уровень их взрывозащиты или степень защиты оболочки по ГОСТ 14255—69 * соответствуют табл. 3.32 или являются более высокими.

Во взрывоопасных зонах любого класса электрические присоединения могут применяться при условии, если они удовлетворяют требованиям табл. 3.32 для аппаратов, искрящих при нормальной работе.

Во взрывоопасных зонах классов В-Iб и В-IIа допускается применять соединители в оболочке со степенью защиты IP54 при условии, что разрыв у них происходит внутри закрытых розеток.

Установка соединителей допускается только для включения периодически работающих электроприемников (например, переносных светильников). Число соединителей должно быть ограничено необходимым минимумом, и они должны быть расположены в местах, где образование взрывоопасных смесей наименее вероятно.

Искробезопасные цепи могут коммутироваться соединителями общего назначения.

Сборки зажимов рекомендуется выносить за пределы взрывоопасной зоны. В случае технической необходимости устаиовки сборок во взрывоопасной зоне они должны удовлетворять требованиям табл. 3.32 для стационарных аппаратов, не искрящих при работе.

Предохранители и выключатели осветительных цепей рекомендуется устанавливать вне взрывоопасных зон.

При применении аппаратов и приборов с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» следует руководствоваться следующим:

индуктивность и емкость искробезопасных цепей, в том числе и присоединительных кабелей (емкость и индуктивность которых определяются по характеристикам, расчетам или измерениям), не должны превосходить максимальных значений, оговоренных в технической документации на эти цепи. Если документацией предписываются конкретный тип кабеля (провода) и его максимальная длина, то их изменение возможно только при наличии заключения испытательной организации по ГОСТ 12.2.020—76*.

В искробезопасные цепи могут включаться изделия, которые предусмотрены технической документацией на систему и имеют маркировку «В комплекте...». Допускается включать в эти цепи серийно выпускаемые датчики общего назначения, не имеющие собственного источника тока, индуктивности и емкости. К таким датчикам относятся серийно выпускаемые термометры сопротивления, термопары, терморезисторы, светодиоды и подобные им изделия общего назначения, встроенные в защитные оболочки.

Цепь, состоящая из серийно выпускаемых термопары и гальванометра (милливольтметра) общего назначения, является искробезопасной для любой взрывоопасной среды при условии, что гальванометр не содержит других электрических цепей, в том числе подсвета шкалы.

В искробезопасные цепи могут включаться серийно выпускаемые переключатели, ключи, сборки зажимов общего назначения и

т. п. при условии, что: к ним не подключены другие, искроопасные цепи; они закрыты крышкой и опломбированы; их изоляция рассчитана на трехкратное номинальное напряжение искробезопасной цепи, но не менее чем на 500 В.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Электрооборудование кранов, талей, лифтов и т. п., находящихся во взрывоопасных зонах любого класса и участвующих в технологическом процессе, должно удовлетворять требованиям табл. 3.32 для передвижных установок.

Электрооборудование кранов, талей, лифтов и т. п., находящихся во взрывоопасных зонах и не связанных непосредственно с технологическим процессом (например, монтажные краны и тали), должно иметь:

а) во взрывоопасных зонах классов В-I и В-II — любой уровень взрывозащиты для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей;

б) во взрывоопасных зонах классов В-Iа и В-Iб — степень защиты оболочки не менее IP33;

в) во взрывоопасных зонах классов В-IIа и В-Iг — степень защиты оболочки не менее IP44.

Применение указанного электрооборудования допускается только при отсутствии взрывоопасных концентраций во время работы крана.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВЕТИЛЬНИКИ

Во взрывоопасных зонах могут применяться электрические светильники при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты соответствуют табл. 3.32 или являются более высокими.

В помещениях со взрывоопасными зонами любого класса со средой, для которой не имеется светильников необходимого уровня взрывозащиты, допускается выполнять освещение светильников общего назначения (без средств взрывозащиты) одним из следующих способов:

через неоткрывающиеся окна без фрамуг и форточек, снаружи здания, причем при одинарном остеклении окон светильники должны иметь защитные стекла или стеклянные кожухи;

через специально устроенные в стене ниши с двойным остеклением и вентиляцией ниш с естественным побуждением наружным воздухом;

через фонари специального типа со светильниками, установленными в потолке с двойным остеклением и вентиляцией фонарей с естественным побуждением наружным воздухом;

в коробах, продуваемых под избыточным давлением чистым воздухом. В местах, где возможны поломки стекол, для застекления коробов следует применять небьющееся стекло;

с помощью осветительных устройств со щелевыми световодами.

ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОН ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

При выборе электрооборудования, устанавливаемого в пожароопасных зонах, необходимо учитывать также условия окружающей среды (химическую активность, атмосферные осадки и т. п.).

Неподвижные контактные соединения в пожароопасных зонах любого класса должны выполняться сваркой, опрессовкой, пайкой, свинчиванием или иным равноценным способом. Разборные контактные соединения должны быть снабжены приспособлением для предотвращения самоотвинчивания.

Выбор электрооборудования для работы в пожароопасных зонах должен производиться по табл. 3.33.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины с классами напряжения до 10 кВ при условии, что их оболочки имеют степень защиты по ГОСТ 17494—87 не менее указанной в табл. 3.33.

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины, продуваемые чистым воздухом с вентиляцией по замкнутому или разомкнутому циклу. При вентиляции по замкнутому циклу в системе вентиляции должно быть предусмотрено устройство для компенсации потерь воздуха и создания избыточного давления в машинах и воздуховодах.

Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой машины устанавливаются. До освоения электропромышленностью крупных синхронных машин, машин постоянного тока и

Таблица 3.33. **Минимальио допустимые степеии защиты оболочек в зависимости от класса пожароопасной зоны**

Вид установки и условия работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIа	П-III
Электрические машины				
Стационарно установленные машины, искрящие или с искрящими частями по условиям работы	IP44	IP54*	IP44	IP44
Стационарно установленные машины, не искрящие и без искрящих частей по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Машины с частями, искрящими и не искрящими по условиям работы, установленные на передвижных механизмах и установках (краны, тельферы, электротележки и т. п.)	IP44	IP54*	IP44	IP44 *
Электрические аппараты, приборы, шкафы и коробки				
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках (краны, тельферы, электротележки и т. п.), искрящие по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP44
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках, не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов**	IP44	IP54* / IP44	IP44	IP44
Коробки сборок зажимов силовых и вторичных цепей	IP44	IP44	IP44	IP44
Электрические светильники* **				
Лампы накаливания	IP53	IP53	2'3	2'3
Лампы ДРЛ	IP53	IP53	IP23	IP23
Люминесцентные лампы	5'3	5'3	IP23	IP23

* До освоения электропромышленностью машин со степенью защиты оболочки IP54 могут применяться машины со степенью защиты оболочкн IP44.

** Для зоны П-II в числителе указана степень защиты оболочки шкафов при установке в них аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы, в знаменателе — ие искрящих по условиям работы.

*** Допускается изменять степеиь защиты оболочки от проникновения воды в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники.

Для иекоторых светильников приняты следующие обозначения: 2' — для перекрытий с неуплотиенной светопропускающей оболочкой; 5' — с частнчно пылезащищенной (защиту от пыли имеют только токоведущие части).

статических преобразовательных агрегатов в оболочке со степенью защиты IP44 допускается применять в пожароопасных зонах класса П-IIа машнны и агрегаты со степенью защиты оболочки не менее IP20.

Воздух для веитиляции электрических машин не должен содержать паров и пыли горючих веществ. Выброс отработавшего воздуха при разомкнутом цикле вентиляции в пожароопасную зону не допускается.

Для механизмов, установленных в пожароопасных зонах, допускается примененне электродвигателей с меньшей степенью защиты оболочки, чем указано в табл. 3.33, при следующих условиях:

электродвигатели должны устанавливаться вне пожароопасных зон;

привод механизма должен осуществляться при помощи вала, пропущенного через стену, с устройством в ней сальникового уплотнения.

Электрическне машины с частямн, нормально искрящимн по условням работы (например, электродвигатели с контактными кольцами), должны располагаться на расстоянии не менее 1 м от мест размещения горючих веществ или отделяться от них несгораемым экраном.

Электрооборудование переносного электрифицированного инструмента в пожароопасных зонах любого класса должно быть со степенью защиты оболочки не менее IP44; допускается степень защиты оболочки IP33 при условии выполнения специальных технологических требований к ремонту оборудования в пожароопасных зонах.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ

В пожароопасных зонах могут применяться электрические аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов, имеющие степень защиты оболочки по ГОСТ 14255—69 * не менее указанной в табл. 3.33.

Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой аппараты и приборы устанавливаются.

Аппараты и приборы, устанавливаемые в шкафах, могут иметь меньшую степень защиты оболочки, чем указано в табл. 3.33 (в том числе исполнение IP00), при условии, что шкафы имеют степень защиты оболочки не ниже указанной в табл. 3.33 для данной пожароопасной зоны.

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов, продуваемые чистым воздухом под избыточным давлением.

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться аппараты и приборы в маслонаполненном исполнении (за исключением кислородных установок и подъемных механизмов, где применение этих аппаратов и приборов запрещается).

Щитки и выключатели осветительных сетей рекомендуется выносить из пожароопасных зон любого класса, если это не вызывает существенного удорожания и расхода цветных металлов.

Электроустановки запираемых складских помещений, в которых есть пожароопасные зоны любого класса, должны иметь аппараты для отключения извне силовых и осветительных сетей независимо от наличия отключающих аппаратов внутри помещений. Отключающие аппараты должны быть устаиовлены в ящике из несгораемого материала с приспособлением для пломбирования на ограждающей конструкции из несгораемого материала, а при ее отсутствии — на отдельной опоре.

Отключающие аппараты должны быть доступны для обслуживания в любое время суток.

Если в пожароопасных зонах любого класса по условиям производства необходимы электронагревательные приборы, то нагреваемые рабочие части их должны быть защищены от соприкосновения с горючими веществами, а сами приборы установлены на поверхности из негорючего материала. Для защиты от теплового излучения электронагревательных приборов необходимо устанавливать экраны из несгораемых материалов.

В пожароопасных зонах любого класса складских помещений, а также в зданиях архивов, музеев, галерей, библиотек (кроме специально предназначенных помещений, например буфетов) применение электронагревательных приборов запрещается.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Степень защиты оболочки электрооборудования, применяемого для кранов, талей и аналогичных им механизмов, должна соответствовать табл. 3.33.

Токоподвод подъемных механизмов (кранов, талей и т. п.) в пожароопасных зонах классов П-I и П-II должен выполняться переносным гибким кабелем с медными жилами, с резиновой изоляцией, в оболочке, стойкой к окружающей среде. В пожароопасных зонах классов П-IIа и П-III допускается применение троллеев и троллейных шинопроводов, но они не должны быть расположены над местами размещения горючих веществ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВЕТИЛЬНИКИ

В пожароопасных зонах должны применяться светильники, имеющие степень защиты не менее указанной в табл. 3.33.

Конструкция светильников с лампами ДРЛ должна исключать выпадание из них ламп. Светильники с лампами накаливания должны иметь сплошное силикатное стекло, защищающее лампу. Они не должны иметь отражателей и рассеивателей из сгораемых материалов. В пожароопасных зонах любого класса складских помещений светильники с люминесцентными лампами не должны иметь отражателей и рассеивателей из горючих материалов.

Электропроводка внутри светильников с лампами накаливания и ДРЛ до места присоединения внешних проводников должна выполняться термостойкими проводами.

Переносные светильники в пожароопасных зонах любого класса должны иметь степень защиты не менее IP54; стеклянный колпак светильника должен быть защищен металлической сеткой.

Г. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСТАНОВОК

3.10. НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Насосные станции в зависимости от их строительного выполнения (заглубленные или надземные), характера водозабора и вентиляции могут быть отнесены к нормальным, влажным или сырым помещениям.

В крупных насосных станциях электрооборудование напряжением до 1 кВ и выше, щиты управления и автоматики, КИП располагают в специальных помещениях или непосредственно в машинном помещении, если строительное выполнение допускает такую возможность. В малых надземных насосных стаициях питающие пункты и аппаратура управления устанавливаются в помещениях насосных агрегатов. В пульпонасосных и канализационных насосных станциях электрооборудование, как правило, располагается в специальных помещениях.

Заводы выпускают станции автоматического управления насосными агрегатами (САУНД-65) для управления двигателями до 75 кВт и КУПНА до 160 кВт.

Станции обеспечивают пуск и остановку агрегатов в заданной последовательности, открытие и закрытие задвижек на трубопроводах в соответствующие моменты времени, отключение насосных агрегатов при аварийных режимах, контроль параметров режима работы при пуске, остановке и работе станции, а также ряд других операций, таких как управление дренажными насосами, контроль за охлаждением сальников, отоплением помещения и т. п.

3.11. КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Для привода мощных компрессоров применяют синхронные двигатели, для компрессоров малой производительности — асинхронные двигатели.

Следует иметь в виду, что воздушные компрессорные станции относятся к помещениям с нормальной средой, аммиачные компрессорные — к взрывоопасным класса В-Iб, прочие компрессорные станции — к соответствующему классу в зависимости от свойств газа, нагнетаемого компрессором. Электрооборудование для управления компрессорами в зависимости от характеристики окружающей среды может располагаться в машинном помещении или в специальных электротехнических помещениях.

Управление компрессорными агрегатами может быть местным, автоматическим или дистанционным, осуществляемым диспетчером энергетического хозяйства предприятия.

Современные компрессорные чаще всего автоматизируются. На диспетчерский пункт передаются только сигналы состояния компрессоров.

3.12. КОТЕЛЬНЫЕ

Помещения котельных при газовом топливе рассматриваются как влажные или жаркие (табл. 3.34). Пусковые устройства двигателей аварийной вентиляции должны располагаться снаружи котельной или в помещениях, где исключено образование взрывоопасной концентрации.

3.13. ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Поточно-транспортной системой (ПТС) называют комплекс механизмов, связанных единым технологическим процессом, предназначенный для транспортировки и переработки различных материалов и изделий. К системам ПТС относят также системы подвесных и толкающих конвейеров на машиностроительных и шинных заводах, монорельсовые дороги и другие системы транспортных, перерабатывающих и тому подобных механизмов в различных отраслях народного хозяйства.

Простой ПТС называют систему со слаборазвитым технологическим процессом и числом механизмов не более 25.

Сложной ПТС считают систему с сильноразветвленной технологической схемой, с возвратными потоками, наличием параллельных и самостоятельных ветвей, с большим числом технологических и обеспечивающих механизмов.

Участком называют часть сложной ПТС, выполняющую самостоятельный этап общей технологии. Границами участка обычно являются емкости или склады.

Тракт представляет собой любую параллельную ветвь участка, которая по условиям технологии может быть пущена или остановлена независимо от других ветвей участка.

Таблица 3.34. **Выбор электрооборудования для котельных (топливо — уголь или торф)**

Электрооборудование, вид сети	Помещение котельной, характеристика среды, рекомендуемое электрооборудование					
	Зона обслуживания котлов и дымососная. Пыльная, жаркая	Питательные и сетевые насосы, бойлерная и конденсационная. Влажная, жаркая	Зольное отделение. Влажная, пыльная	Химводоочистка, деаэраторная. Сырая	Дробильное, размольное, топливоподачи	
					Антрацит, полуантрацит и тощие угли, П-II	Каменный или бурый уголь, торф, В-IIа
Двигатели	1, 16, 27, 31	1, 16, 27, 31	27, 31	27, 31, 34	27, 31	27, 30, 31
Аппараты управления и защиты	4, 34, 35	4, 34, 35	4, 34, 35	24, 35, 36	35, 36, 37	35, 36, 37
Силовые пункты, шкафы станций управления	18, 35	—	—	—	—	—
Краны	IP40, IP44	IP23	—	—	—	—
Крановые сети	Угловая сталь или гибкий кабель	Угловая сталь или гибкий кабель	—	—	—	—
Силовые сети	АПВ, АППВ на лотках, открыто по стенам	АПВ, АППВ на лотках, открыто по стенам	АПВ, АППВ на лотках, по стеиам	АПВ по стенам	АПВ на лотках, изоляторах	АПРТО-ГТ, АВРБГ на лотках, по стенам

Примечание. Для электрооборудования указан номер исполнения по табл. 3.26, 3.27; для кранов и прочего оборудования и устройств, отсутствующих в таблицах,— желательная степень защиты; для электросетей — основная марка и вид прокладки.

Трактом также называют самостоятельные ответвления, сопряженные с основными потоками технологической схемы участка.

Местным режимом управления называется режим, при котором механизм запускают с местного поста управления, в блокировки с другими механизмами отсутствуют или отключены в связи с переводом механизма на местный режим. Местное управление используют только в период опробования механизма в процессе ремонтных и наладочных работ.

Местным сблокированным называют управление, при котором подготовку к пуску и пуск каждого механизма производят с местного поста управления, а последовательность запуска и дальнейшая работа определяются блокировочными связями в соответствии с требованиями технологии. Как правило, при местном сблокированном режиме на мнемосхеме щита (пульта) оператора индуцируется включенное или отключенное состояние механизма. Предусматривать в схеме ПТС режим местного сблокированного управления следует только в специально обоснованных случаях, так как для нормальной эксплуатации такой режим не требуется.

Дистанционным централизованным управлением называют такое управление, при котором пуск механизма осуществляет оператор, воздействуя на пусковой аппарат, установленный на щите оператора (ОП). Такой режим предусматривают для ответственных механизмов.

Автоматизированным управлением (основной эксплуатационный режим) называют управление, при котором имеет место ручной ввод команд оператором (избирание, пуск, остановка) и последующее автоматическое выполнение системой заданных команд.

Избиранием называют выбор технологических трактов или механизмов для работы в ПТС, при котором в схемах образуются электрические связи, подготовляющие механизмы к включению. Как правило, избираемыми назначают механизмы, определяющие направление технологического потока.

Блокировка. Под блокировкой понимают электрическую связь между механизмами, между механизмами и датчиками, которая обеспечивает запрет пуска и работы механизма при остановке блокирующего механизма или запрещающем сигнале датчика. Схема простейшего технологического участка с двумя параллельными трактами изображена на рис. 3.6, а схема блокировочной зависимости этого участка — на рис. 3.7.

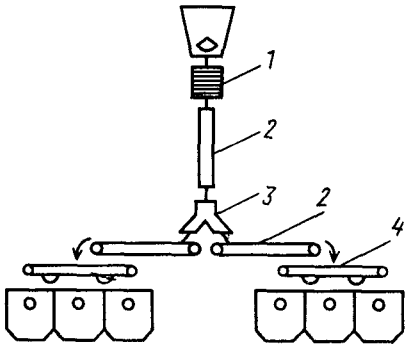


Рис. 3.6. Схема технологического участка с двумя трактами:
1 — питатель; *2* — конвейер; *3* — шибер; *4* — передвижной конвейер

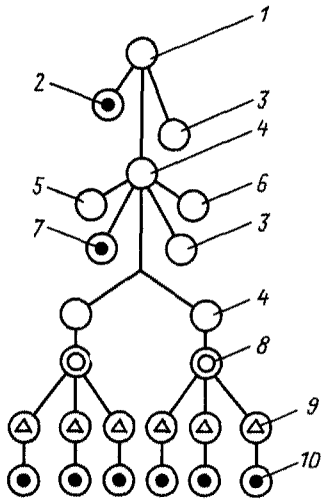


Рис. 3.7. Схема блокировочной зависимости технологического участка с двумя трактами: *1* — питатель; *2* — датчик нижнего уровня; *3* — вентилятор аспирации; *4* — конвейер; *5* — маслостанция; *6* — вспомогательные механизмы конвейера; *7* — датчик забивки течки; *8* — передвижные конвейеры; *9* — датчики положения конвейеров; *10* — датчики нижнего уровня

Задачи схемы управления ПТС. Системы управления ПТС должны обеспечивать:

дистанционное избирание участков, трактов и механизмов;

визуальный контроль правильности избирания;

контроль перевода механизмов на местный режим управления;

возможность запроса разрешения на запуск от цехового персонала, если механизмы имеют постоянный обслуживающий персонал;

контроль получения ответов из цеха на запрос о разрешении на запуск;

контроль готовности к пуску вспомогательных, а в ряде случаев и основных систем и механизмов;

автоматическую подачу предпускового сигнала с контролем его выполнения;

визуальный контроль положения передвижных механизмов, механизмов, переключающих направление технологического потока, уровней в бункерах и т. п.;

автоматический пуск механизмов в заданной последовательности с необходимыми временными интервалами;

возможность «залпового» пуска механизмов;

автоматическое включение блокировочных связей при избирании тракта;

отображение на щите, пульте оператора информации о состоянии механизмов и систем (избран, работает, отключен, отключился аварийно и т. п.);

автоматическую обстановку механизмов, подающих материал на аварийно отключившийся механизм, или получении запрещающего сигнала от блокирующего датчика;

невозможность дистанционного или автоматического запуска механизма, остановленного аварийным выключателем;

автоматическое повторное включение участка после кратковременного перерыва электроснабжения;

возможность разгрузки тракта, участка от материала при плановой его остановке;

отключение аспирационных установок после остановки тракта с выдержкой времени, достаточной для удаления пыли;

возможность аварийной остановки всех механизмов технологического потока, когда это необходимо;

подачу светового и звукового сигналов при аварийной остановке какого-либо вспомогательного механизма или системы, если их отключение не приводит к остановке технологического процесса;

возможность работы механизмов и трактов в местном сблокированном режиме, если наличие такого режима технически обосновано.

Для современных систем ПТС, выполненных с применением микроэлектронных аппаратных средств, характерно выполнение функций подсистемы АСУ ТП нижнего уровня, т. е. совмещение функций управления механизмами и управления технологическим процессом. Такие системы, кроме перечисленных выше, должны иметь способность обмена информацией и командами с системами АСУ ТП смежных уровней, отображать текущие значения кон-

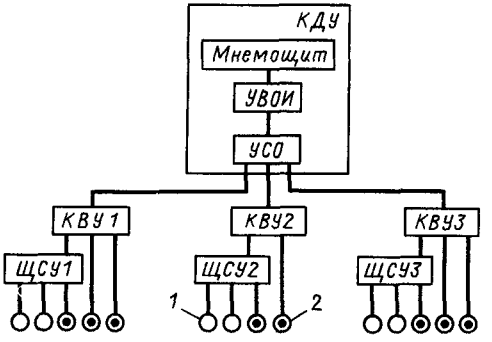


Рис. 3.8. Структурная схема управления ПТС:
1 — механизмы; *2* — датчики

тролируемых параметров, осуществлять дистанционное или автоматическое задание регуляторам и отображать значение этого задания, выполнять логические и арифметические операции, а также ряд других функций, характерных для АСУ ТП нижнего уровня. Применение микропроцессорных, программируемых контроллеров и других подобных устройств позволяет организовать документирование технологического процесса с записью данных на магнитофон или вывод их на печатающие устройства. Программируемые устройства должны позволять редактирование программы или полиую ее перезапись при измеиении технологии или реконструкции технологического потока и блокировочных связей, а также иметь развитую систему диагностики отказов. Все слаботочные системы ПТС должны быть защищены от влияния внешних помех.

Состав комплекта ПТС. В общем виде любая система ПТС состоит из комплекса дистанционного управления (КДУ), комплектов выходных устройств (КВУ) и сопряженных с ними щитов станций управления механизмами (ЩСУ), регуляторов, датчиков и других устройств, обеспечивающих работу ПТС. Комплект КДУ в свою очередь состоит из мнемощита, устройства ввода и отображения информации (УВОИ) и устройства связи с объектом (УСО). Структурная система управления ПТС показана на рис. 3.8. Комплект КДУ обеспечивает формирование общих комаид управления (пуск, стоп, избирание и др.), отображение состояния объектов, ввод уставок регуляторов и контроль регулируемых параметров; осуществляет сигнализацию при нарушениях режимов работы и возникновении аварийных ситуаций. Комплект устанавливают в помещении ОП. В функции УСО входит кодирование и дешифровка сигиалов, уплотиение каналов связи, потенциальная развязка входов-выходов, разветвление сигналов. Через УСО осуществляется связь КДУ с устройствами АСУ ТП верхнего уровия, выход на магнитофон и печатающие устройства. В простейших релейных ПТС роль УСО выполняет блок зажимов. Комплект КВУ предназиачен для связи со ЩСУ, датчиками, регуляторами, измерительными приборами и другой аппаратурой ПТС. Комплект воспринимает команды от КДУ, транслирует их, обеспечивает управление механизмами в соответствии с заданной программой, формирует сигналы обратной связи от механизмов и систем для передачи их на КДУ, осуществляет защиту и контроль работы элементов устройства и диагностику отказов. Комплекты КВУ обеспечивают возможность обмеиа иифорыацией между собой и внешними устройствами, если трансляция их через КДУ нецелесообразна. Комплект КВУ устанавливают вблизи обслуживаемого им НКУ. Все системы ПТС поставляются в виде комплектных устройств заводского изготовления. Релейные ПТС заказывают в составе НКУ по индивидуальным заданиям. Бесконтактные системы ПТС, основанные на применении унифицированиых узлов и модулей, из-

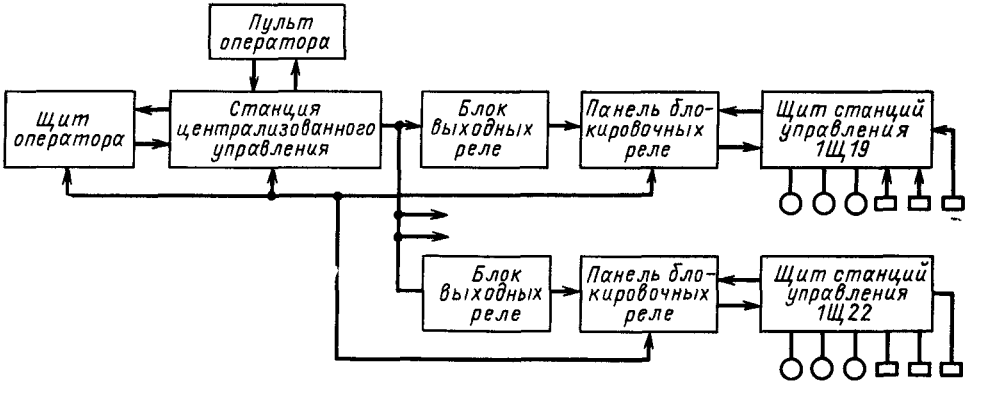


Рис. 3.9. Структурная схема релейиой ПТС

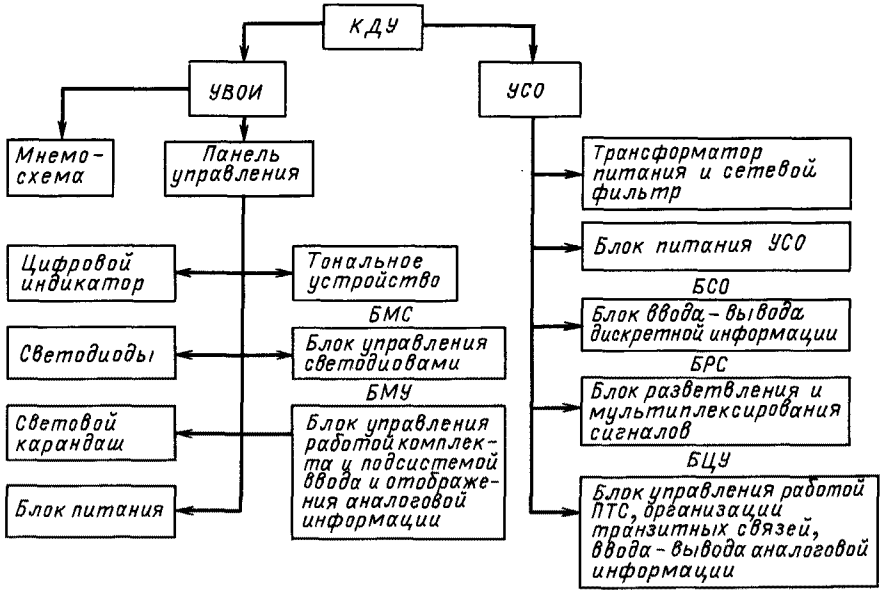


Рис. 3.10. Состав функциональных блоков КДУ системы «Поток»

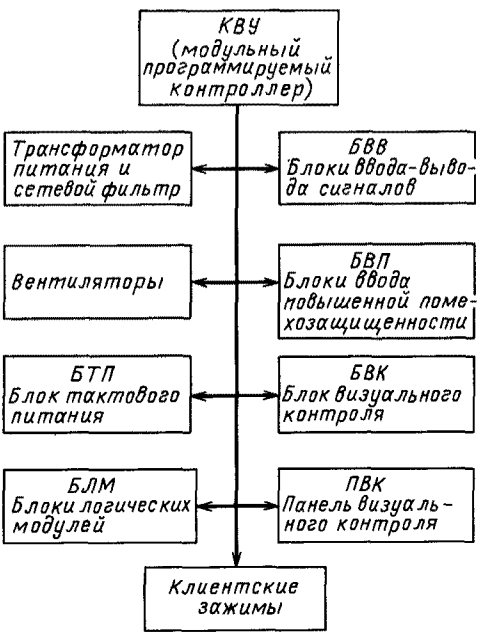


Рис. 3.11. Состав функциональных блоков КВУ системы «Поток»

готовляются серийно по заданиям, определяющим состав заказываемого устройства. Ввод программы производят непосредственно на объекте. К моменту заказа устройства программа может не составляться. Общая структура релейной ПТС показана на рис. 3.9, а на рис. 3.10 и 3.11 приведен состав функциональных блоков КДУ и КВУ бесконтактной системы «Поток».

Общие указания по построению схем блокировочной зависимости. Схема блокировочной зависимости (рис. 3.7) во многом определяет дальнейшее проектирование ПТС и надежность работы технологического потока во время эксплуатации.

Детальное изучение входящих в ПТС механизмов и систем, их взаимосвязи, а также общей технологии производства должно предшествовать составлению схемы. Особое внимание следует уделить выявлению всех возможных аварийных ситуаций и причинам их возникновения. Несмотря на различие технологических процессов существуют некоторые общие положения по блокировке, которые рекомендуется учитывать при проектировании, а именно:

последовательность автоматического пуска механизмов должна быть в направлении, обратном технологическому потоку, за исключением особых случаев, определяемых технологией;

остановка механизма должна приводить к остановке всей цепи предшествующих по технологическому потоку механизмов в пределах тракта;

аналогичную остановку должно вызывать срабатывание запрещающих датчиков (уровня, забивки течек и т. п.), несоответствие по-

ложения передвижных и переключающих поток механизмов (передвижных конвейеров, шиберов, стрелок и др.), отключение вспомогательных систем;

если механизм не допускает остановки под загрузкой, следует отключать питающий его механизм и отключенне данного механизма производить после выдержки времени, достаточиой для проработки материала;

для механизмов, которые входят в технологические потокн различных участков нли трактов, блокировочные связи должны осуществляться при всех технологических схемах их работы;

блокировку по возможности следует выполнять от датчика, контролирующего работу механизма, например от реле скорости, а не от включения пускового аппарата;

механизмы, оборудованные системами аспирации, разрешается запускать только после включения системы аспирации;

отключение аспирационной установки в помещениях с нормальной средой не останавливает технологический поток, а выдает аварийиый сигнал;

плановую остановку аспирации следует производить специальной командой после остановки тракта с выдержкой времеии, достаточной для удаления пыли;

плановую остановку тракта производят после разгрузки его от материала, для чего предварительно должны быть остановлены подающие механизмы, например питатели;

остановка любого из параллельиых трактов не должиа влиять иа работу остальных трактов;

для механизмов, остановка которых должна сопровождаться циклом каких-либо операций со вспомогательными механизмами (закрытие задвижек, включение пусковых маслонасосов, подъем рабочих органов и т. п.), должно быть обеспечено выполнение этих операций и при аварийном отключении;

в схемах механизмов, оборудованных металлоискателями, должна предусматриваться блокировка от их работы с выключенными металлоискателями;

для механизмов, остановка которых производится подачей напряжения на отключающее реле, следует предусматривать контроль целостности катушки этого реле;

отключение аварийного выключателя должно предотвращать все возможности пуска механизма, как самопроизвольного, так и с любого места управления, вплоть до снятия запрета;

мощные высоковольтные механизмы рекомеидуется включать дистаиционно с ОП, что особенно важно для механизмов, которые по техническим условиям имеют ограниченное число пусков;

при автоматическом повторном включении тракта следует выполнять все условия блокировки при пуске механизмов, если другие решения не диктуются технологией и возможны по условиям работы механизмов;

отключение механизма по блокировке должно сопровождаться индикацией причины отключения на местном или центральном пункте управления;

потеря питания в блокирующих системах должна приводить к отключению блокируемого механизма;

пуску механизмов должен предшествовать предпусковой сигнал, вид и длительность которого определяются ведомственными правилами;

в системах ПТС на программируемых устройствах для особо ответственных механизмов наряду с программными допускается использование прямых блокировочиых связей.

Сигнализация и контроль. Обычное состояние механизмов сигнализируют на щите оператора включением сигнальных ламп или светодиодов. Для различия состояний рекомендуются следующие режимы свечения ламп: механизм отключен — лампа не горит; механизм аварийно отключился — частое мигание; механизм переведен на местиое управление — медленное мигание.

Если механизмы тракта переведены на местное блокированное управление, рекомеидуется для ламп мнемощита сохранить указаиные выше режимы горения, за исключением сигнала избирания. Световые индикаторы положения передвижных механиизмов, открытые и закрытые положения задвижек, затворов шиберов, сигнальные лампы уровней, наличие материала и т. п. включаются иа ровный свет. Лампы сигнализации о получеиии разрешения от цехового персонала на автоматический (дистанционный) запуск механизмов должны гореть в режиме частого мигания при избирании тракта, а по мере получения ответа автоматически переводиться на ровный свет. Это помогает оператору лучше контролировать подготовку участка к пуску. При нормальной работе участка мнемощит, как правило, отключен и ровным светом горят только лампы, сигнализирующие о работе трактов и участка в целом, например лампы последних по пуску механизмов. Изменение в состоянии механизмов (избирании, аварийном отключении и т. п.) вызывает автоматическое включение сигнализации мнемощита. Для сложиых механизмов с различными обеспечивающими системами и сложными внутренними блокировками на мнемощите предусматривают лам-

пу готовности, которая загорается ровным светом при готовности механизма к включению.

Особую группу составляют лампы аварийной сигнализации. Эти лампы группируют на специально отведенном месте мнемощита или на пульте управления. На аварийную сигнализацию выводят те механизмы или системы, отключение которых не вызывает остановки технологических механизмов, но требует мер по ликвидации аварии, например переполнение зумпфов дренажных насосов, отключение некоторых аспирационных установок, снижение давления в маслосистемах (допустимое) и другие подобные сигналы. При получении сигнала аварии должна включаться соответствующая лампа и должен звучать аварийный сигнал. Звуковой сигнал можно снять нажатием кнопки съема сигнала. Лампа при этом должна гореть до ликвидации причины аварии. Звуковой сигнал также должен включаться при аварийной остановке любого механизма участка и звучать до снятия команды избирания остановившегося тракта. Сигнальные лампы состояния механизмов, уровней, положения, открытия и закрытия обычно располагают в габаритах соответствующих мнемознаков. Следует иметь в виду, что чрезмерная детализация причин отключения механизмов или систем на мнемощите затрудняет работу оператора, поэтому в каждом конкретном случае нужно определять рациональное соотношение сигналов на местном посту управления и на щите оператора. Оператор должен иметь возможность принудительно включать мнемощит в любой момент времени, а для аварийной сигнализации проверять исправность сигнальных ламп и схемы. Контроль за состоянием технологического процесса, энергопотребления и другими величинами осуществляют при помощи приборов, установленных на мнемощите. Когда таких параметров много, то на объединенном мнемощите устанавливают аппараты, выполняющие функции управления и контроля за состоянием механизмов и устройств, и приборы КиП. Системы ПТС, выполненные с применением программируемой микропроцессорной аппаратуры, позволяют на один или несколько цифровых индикаторов вывести значения множества контролируемых параметров и организовать их опрос по заданному циклу или по запросу оператора. При автоматическом цикличном опросе обычно предусматривают остановку цикла, если величина параметра вышла за допустимые пределы. Остановка цикла должна сопровождаться индикацией величины параметра с указанием адреса контролируемой точки и подачей звукового сигнала. Возобновление цикла происходит по команде оператора. Предусматривают возможность пошагового выполнения цикла опроса, а также вызов определенного параметра по запросу. Задание регуляторам производят указанием адреса регулятора, значения уставки и после проверки по индикаторам правильности задания осуществляют ввод уставки в регулятор. На аналогичном индикаторе контролируют исполнение ввода. В настоящее время происходит замена существующих долгое время релейных систем ПТС на программируемые микропроцессорные устройства. Ниже приводятся краткие сведения о реально существующих релейных ПТС и специализированных бесконтактных системах «Поток» и «Поток-2», «Ломикоит».

УПТС-7П выполнена на контактной аппаратуре и может быть использована для простых и сложных ПТС при длине кабелей связи до 2,5 км. Напряжение питания 380/220 В; напряжение цепей управления, блокировки и предупредительной сигнализации 110 В; напряжение оперативной сигнализации 220 В. Система рассчитана на подключение к сети 50 и 60 Гц. Линии связи многопроводные и выполняются контрольным кабелем. Набор программы производят ключами со щита или пульта оператора. Пуск механизмов — в функции времени. Возможен «залповый» пуск. Система имеет узел АПВ. Ориентировочная стоимость одного механизма 143 руб. Объем задания заводу-изготовителю аналогичен заданию на НКУ 0,4 кВ. В системе разработан типовой комплект КДУ и КВУ. Мнемощит заказывают по индивидуальным чертежам. Достоинства системы: простота, низкая стоимость, возможность изготовления в составе НКУ на заводах электропромышленности. Недостатки: большие габариты, несоответствие конструкции мнемощитов и пультов требованиям технической эстетики, большой объем проектных работ, наличие всех недостатков, присущих контактным схемам, большое количество контрольных кабелей, отсутствие связей с системами АСУ ТП верхнего уровня.

УПТС-5С представляет собой систему, аналогичную УПТС-7П, и отличается тем, что цепи управления и блокировок выполнены на напряжении 220 В переменного тока. УПТС-5С может применяться для простейших ПТС с радиусом действия до 1 км. Ориентировочная стоимость системы 120 руб.

Система «Поток» представляет собой унифицированный комплекс технических средств, выполненный на базе интегральных микросхем и предназначенных для автоматизации и централизации управления механизмами ПТС, где требуется дистанционное управление электроприводами и контроль состояния технологического процесса. Комплекс может быть ис-

пользован для автоматизации установок с автоматическим, циклическим и программным режимами работы.

Имея в своем составе средства дистанционного задания параметров технологического процесса и отображения их текущих значений, комплекс обеспечивает возможность его использования в качестве системы нижиего уровня АСУ ТП.

Систему «Поток» набирают из стандартных, взаимозаменяемых блоков и модулей, унифицированных в части конструкций, внешних подключеиий и внутреннего монтажа, что существеино снижает трудоемкость при проектировании, монтаже и наладке системы. Достоинством системы является возможность редактирования программы в процессе наладки н эксплуатации.

В общем виде система состонт из комплекса дистанцнонного управления (КДУ) и ряда комплектов выходных устройств (КВУ), количество которых определяется структурой технологического процесса и расположеинем электротехиических устройств.

Устройство ввода и отображения ннформации (УВОИ) обеспечивает отображение на мнемосхеме текущего состояния механизмов с помощью различных режимов свечения светодиодов, избирание с помощью светового карандаша отдельных механизмов, трактов, объектов телеизмерения, регуляторов, формирование общих команд управления ПТС (пуск, стоп и т. п.), подачу звукового и светового сигналов при иарушениях работы механизмов и систем, дистанционный ввод задания в регуляторы и отображение на цифровом табло текущих значений регулируемых параметров или других показателей, а также поочередное дистанциоиное управление исполнительными механизмами с помощью кнопок «больше», «меньше» или «вперед», «назад».

Устройство связн с объектом (УСО) обеспечивает ввод-вывод дискретной информации от КВУ, управляет работой ПТС, обеспечивает организацию транзитных связей и ввод-вывод аиалоговой информации. Кроме того, УСО выполняет разветвление и мультиплексирование сигналов.

Мнемосхему выполняют на листе оргаиического стекла, который закрепляют над диодной матрицей, где в иужном количестве и в соответствующих мнемосхеме местах размеща-

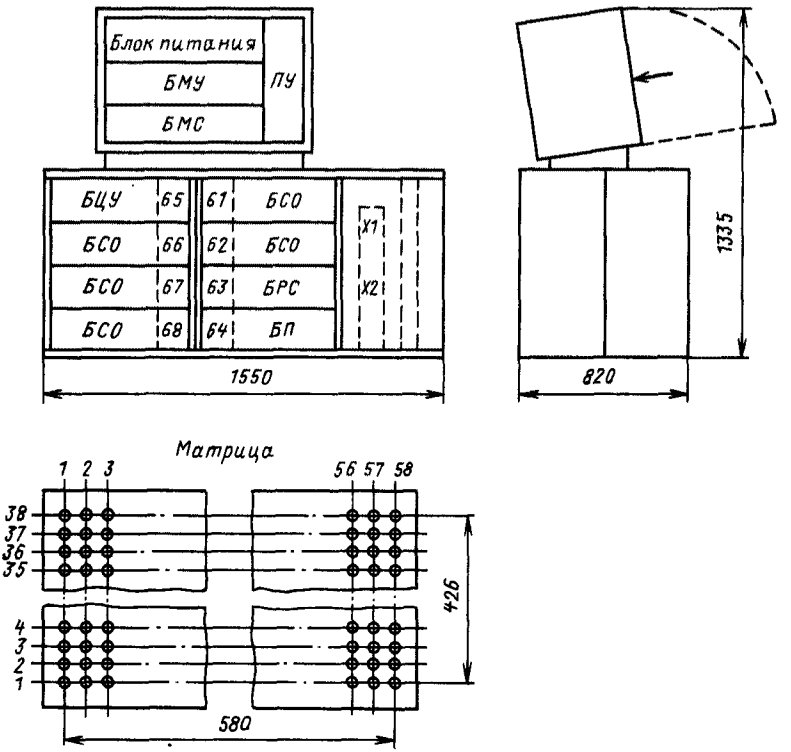


Рис. 3.12. Общий вид и габариты КДУ системы «Поток»

ют светодиоды световой индикации. Светодиоды можно поместить в любые отверстия матрицы.

На панели управления УВОИ расположены цифровые индикаторы, кнопки управления, сигнальные диоды и другие органы управления системой.

Общий вид и габариты КДУ показаны на рис. 3.12.

Комплект выходных устройств (КВУ) (рис. 3.13) выполнен в виде шкафа и имеет два исполнения на 6 и на 14 блоков. Внутренний монтаж шкафа унифицирован. В КВУ осуществляются: построение схем дистанционного управления системой: блокировочные связи между механизмами и подсистемами; управление катушками электромагнитов пускателей, контакторов и т. п.; формирование сигналов, передаваемых на КДУ, и транзитных сигналов; преобразование и трансляция цифровых и аналоговых сигналов различных датчиков. В КВУ имеются системы защиты, контроля и диагностики отказов элементов КВУ. Управление механизмами осуществляется при помощи проблемно-ориентированных модулей, например модуля управления асинхронным двигателем, модуля для двух взаимно резервируемых двигателей, модуля для реверсивного механизма и т. д. Входы-выходы модулей унифицированы и обеспечивают реализацию всех связей, необходимых для ПТС.

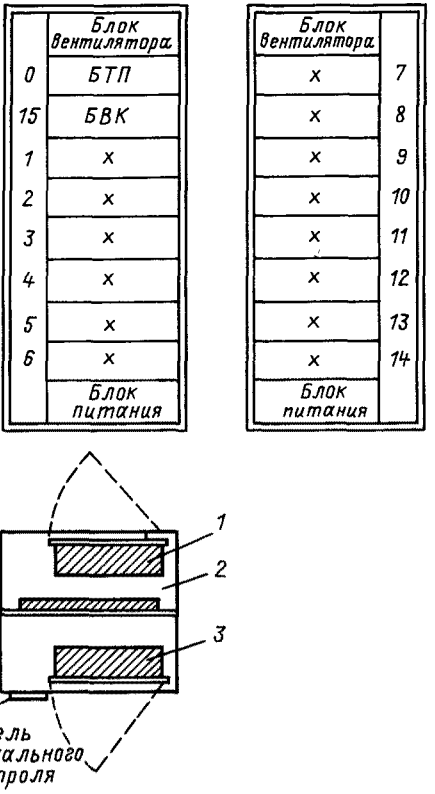


Рис. 3.13. Комплект выходных устройств системы «Поток»:
1, 3 — поворотная рама; *2* — блок зажимов; × — блоки БЛМ, БВВ, БВП — по заказу

Технические данные системы «Поток»

Комплект КДУ

Число объектов, индуцируемых на мнемосхеме	320
Число команд выбора (избирания) объекта	160
Число блоков связи с объектом	5
Число каналов приема информации в блоке	8 (состояние объекта) 2 (аварийные сигналы)
Число каналов вывода команд выбора объекта в блоке	2
Число информации, передаваемой по одному каналу связи (двухпроводная линия), бит	16
Допустимая длина линии связи, км	5
Способ передачи	Циклический
Длительность цикла передачи, с	0,7
Число точек телеизмерений и дистанционного ввода уставок регуляторов	100

Комплект КВУ

Число каналов ввода-вывода	512
Максимальное число выходов	256
Способ организации алгоритмических связей между модулями	Программа
Способ задания программы	Запись адресов логических переменных в ПЗУ
Максимальное число блоков в одном шкафу	14
Число входов на плате ввода	8
Число выходов на плате вывода	4
Параметры входных дискретных сигналов, В:	
переменного тока	220, 48, 24
постоянного тока	110, 24, 12
Входной ток, мА	10—15
Коммутационная способность выходных усилителей:	
герконовых реле 220 В:	
включение, А	2
отключение, А	0,2

Повторение вывода

оптосимисторных ключей 380 В:	
длительно, А	3
кратковременно, А . .	30
Ориентировочная стоимость, руб.	400

Система «Поток-2» является дальнейшим развитием системы «Поток» и спроектирована специально для реализации схем ПТС и выполнения фуикций АСУ ТП; отличается более широким применением микропроцессоров, в частности, для управления светодиодами, для связи с ЭВМ верхнего уровня; имеет выход на магнитофон или печатающее устройство; по заказу может быть поставлена с дисплейным устройством для отображения иифорлации. Позволяет формировать данные для документнрования технологического процесса. Выходные устройства могут быть выполнены в навесных ящиках в исполнении IP54, что позволяет установить их непосредственно в производственных помещениях и даже в шахтах. Программа вводится непосредственно перед началом эксплуатации; позволяет наращивание, редактированне и полное изменение программы. Программирование основано на примененнн программно-ориентнрованных модулей, не требует спецнальных знаний и может быть легко освоено наладочным и эксплуатационным персоналом.

Ломиконт — логический микропроцессорный контроллер, архитектура которого оптимизирована для решения задач автоматического управления технологическим процессом. Ломиконт выполняет операции логики, имеет таймеры и счетчики, осуществляет сложную обработку аналоговых сигналов, в том числе фильтрацию, интегрирование, интерполяцию по времени и параметру, ПИ-регулирование, позволяет выводить технологические сообщения и текущие параметры на дисплей и ЦПУ. Ломиконт позволяет решать комплекс задач логического управления, регулирования, представления и документирования информации о процессе управления; поставляется готовым к работе. Программируется на объекте с помощью «интеллектуального» пульта. Работа оператора с пульта происходит в диалоговом режиме с автоматическим контролем правильности действий оператора. Программа (логика управления) сохраняется прн отключении питания. Язык программирования — МИКРОЛ — не требует специальной подготовки программиста. Ломиконт — проектно-компонуемое изделие, состоящее из базового комплекта и дополнительных модулей для решения конкретных задач, имеет высокую надежность и встроенные средства диагностики с ультрафиолетовым стиранием памяти, легко перепрограммируется. Объекты могут управляться как одним, так и несколькими ломиконтами, распределенными по участкам, зонам, трактам. Ломиконт имеет блочную конструкцию и имеет каркасное, приборное, настенное и шкафное исполнение. Может быть заказан с двумя одинаковыми контроллерами, один из которых рабочий, второй — в горячем резерве. Ломиконт сопрягается с регулирующим контроллером (ремиконт) и с дисплейным (димиконт), который, обмениваясь информацией с ломиконтом, осуществляет отображение данных о течении процесса в режиме реального времени в виде статической информации (мнемосхемы, таблицы, оси координат, информационные надписи и т. д.) и динамической (цифровые значения параметров, аварийная сигнализация, вычислительные данные, характеризующие течение процесса, и т. д.), совмещенной со статической информацией. Динамические данные отображаются в процентах и абсолютных значениях. Димиконт ведет документнрование процесса. Ломиконт в сочетании с димиконтом наряду с системой «Поток-2» является перспективным устройством для реализации задач ПТС.

Техническая характеристика Ломиконта

Число входов:	
дискретных	512
аналоговых	128
Число выходов:	
дискретных	До 256
аналоговых	До 128
импульсных	До 8
Число таймеров	64
Число счетчиков	128
Входные дискретные сигналы, В:	
логический «0»	0—2,4
логическая «1»	19,2—28,8
Коммутационная способность выходных контактов, А . .	48 В, 0,2
Входные и выходные аналоговые сигналы, А	0—5, 0—20
Питание однофазное от промышленной сети	220 В, 50 Гц
Среда	Невзрывоопасная
Влажность	До 80 %
Предельная температура, °С	До 50

Прочие системы. Для построения схем ПТС возможно применение других технологических средств, в первую очередь комплекса КТС ЛИУС-2, а также программируемых контроллеров Б9601, Б9602, КПБ-11, ПЛК-256 и др. Комплекс КТС ЛИУС-2 обладает весьма

широкими возможностями для построения схем АСУ ТП и имеет в своем составе средства отображения информации, управления механизмами и другие, необходимые для решения задач ПТС средства, но отличается сложным программированием и высокой стоимостью, что оправдывает его применение на объектах с сильно разветвленными и насыщенными системами АСУ ТП. Применение программируемых контроллеров несмотря на простоту программирования, возможность унификации решений вызывает определенные трудности в части выполнения связей с устройствами отображения и ввода информации, которые не поставляются в составе контроллера. В общем случае при выборе технических средств следует ориентироваться на устройства, специально предназначенные для управления механизмами ПТС.

НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СХЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

При проектировании схем следует придерживаться ряда общих положений, вытекающих из многолетнего опыта эксплуатации систем ПТС, а именно:

цепи управления приводом должны быть запитаны таким образом, чтобы при отключении автоматического выключателя защиты главных цепей обесточивались цепи управления механизмом;

напряжение цепей управления механизмом должно соответствовать напряжению выходных усилителей (релейных, транзисторных ключей и т. п.) системы ПТС;

отключение механизма аварийным выключателем (другими выключателями безопасности) должно снять напряжение с цепей управления;

при переводе схемы на местное управление должны отключаться цепи управления, связанные с выходным устройством ПТС;

для пуска электродвигателей высокого напряжения следует использовать импульсный выход (контакт) ПТС;

механизм должен отключаться во всех режимах любым из имеющихся в схеме отключающим аппаратом (дистанционным, местным и т. п.);

сигналы о готовности механизма к автоматическому пуску должны подаваться в схему ПТС при условии полной сборки схемы;

максимальное количество промежуточных реле и другой аппаратуры, обеспечивающей работу привода, должно быть показано в схеме привода. В схему ПТС, как правило, должны выдаваться только обобщающие сигналы;

если механизм по условиям работы до-

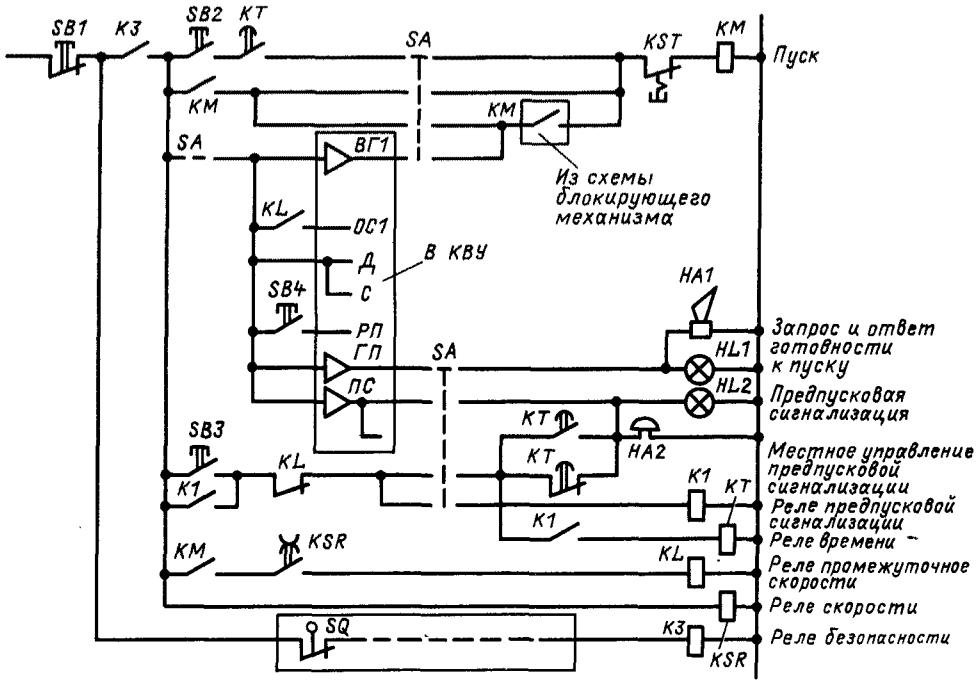


Рис. 3.14. Принципиальная схема цепей управления конвейером системы «Поток»

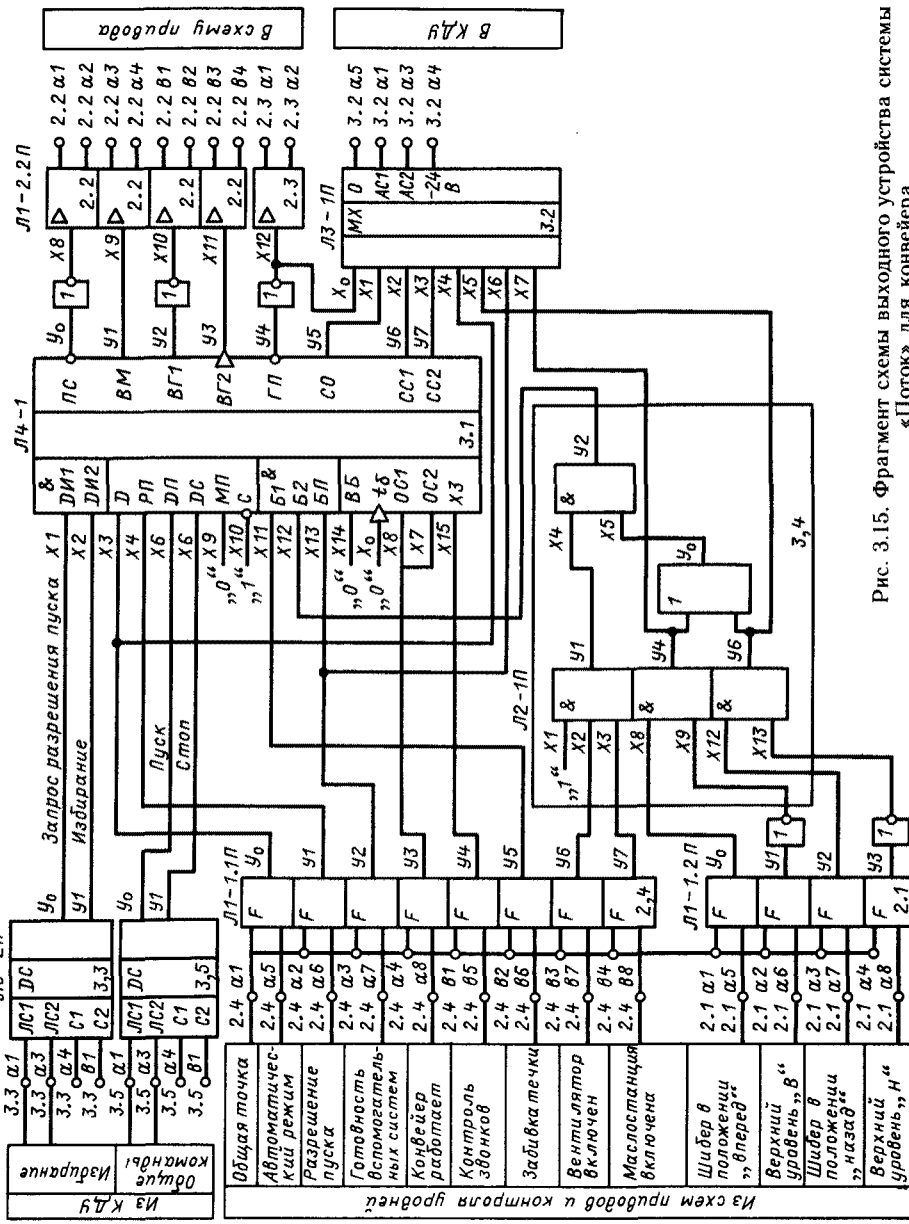


Рис. 3.15. Фрагмент схемы выходного устройства системы «Поток» для конвейера

лжен иметь предпусковую сигнализацию при местном режиме, то эти сигнальные устройства следует использовать и при централизованном управлении;

для синхронных двигателей необходимо следить за тем, чтобы тиристорный возбудитель питался от той же системы шин, что и статор, следует также обеспечить взаимную блокировку двигателя и возбудителя;

катушки пускателей, контакторов и реле следует подключать непосредственно к заземленной шине, если цепи управления запитаны от системы фаза — нуль;

выходы и входы схемы ПТС должны быть согласованы со схемой привода по мощности и току;

для особо ответственных механизмов допускается наряду с блокировкой внутри схемы ПТС использовать прямую блокировку от блокирующего механизма;

для механизмов, расположенных в пределах одного ЩСУ, прямая блокировка часто бывает экономически выгоднее, чем блокировка через схему ПТС, особенно для механизмов с «залповым» пуском;

в сложных схемах следует индицировать причину отказа, что облегчает эксплуатацию механизма;

рекомендуется избегать последовательного включения более шести контактов.

Пример упрощенной схемы цепей управления приводом конвейера, выполненной применительно к системе «Поток», показан на рис. 3.14. Выходные усилители модуля управления механизмом с асинхронным двигателем, установленные в КВУ, выполняют следующие функции: *ГП* — запрос разрешения на пуск, *ПС* — включение предпускового сигнала, *ВГ1* — включение двигателя. Из привода на КВУ передаются следующие сигналы: *РП* — разрешение на пуск, *ОС1* — конвейер включен, *Д* — автоматический режим управления, *С* — местный «стоп». Остальные блокировочные связи, общие команды управления и сигнализации видны на рис. 3.15, где показан фрагмент схемы выходного устройства системы «Поток» для этого конвейера (см. схему блокировочной зависимости на рис. 3.7).

3.14. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ГАРАЖИ

Гаражи по характеру опасности приравниваются к категории Г. В табл. 3.35 приведены отделения и помещения, входящие в состав автогаражного хозяйства.

Зарядные помещения для аккумуляторов оборудуют в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 3.15.

В помещениях стоянки автомобилей всегда есть пары бензина. Поскольку эти пары тяжелее воздуха, электрооборудование в нормальном исполнении следует устанавливать на высоте не менее 2 м от пола.

Таблица 3.35. **Выбор электрооборудования и вида прокладки для автомобильных гаражей**

Электрооборудование и вид сети	Помещения гаражей, характеристика среды				
	Стоянка автомашин (закрытая). Нормальная, до 2 м от пола — пары бензина	Мойка. Сырая	Ремонтное, агрегатно-механическое, слесарное, кузнечное, медницко-радиаторное, сварочное. Нормальная	Шиномонтажное П-IIа	Шиноремонтное, карбюраторное, окрасочное. В-Iа, В-Iб (2Т1)
	№ исполнения, степень защиты и вид прокладки				
Двигатели	30, 31	31	16, 19	30, 31	*
Аппараты управления и защиты	39,49,53	39, 52	9, 12, 19, 23	23, 24, 25, 39	*
Силовые пункты	35	*	16, 17	16, 17	*
Краны	IP23, IP44	—	IP23, IP44	—	В2Т1
Крановые сети	Угловая сталь	—	Угловая сталь	КРПТН по рис. 3.5, *а*	КРПСН по рис. 3.5, *б*
Силовые сети	АПВ, АПРН на лотках, по стенам АППВ	АПВ в пластмассовых трубах	Как для стоянки автомашин	АПВ, АПРН по стенам	ПВ, ПРТО в газовых трубах

* Выносить в нормальное помещение.

3.15. ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРОВ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

С ростом технической вооруженности промышленности на предприятиях растет число машин наземного безрельсового транспорта, таких как электротележки, электропогрузчики, электроштабелеры, автомашины и т. п. В большинстве случаев все эти механизмы приводятся в движение от тяговых аккумуляторных батарей (щелочных или кислотных) или от стартерных батарей.

Для ремонта и зарядки аккумуляторных батарей необходимо, как правило, сооружение специальных зарядных станций. При числе напольных машин до шести разрешается не сооружать зарядных станций, а заряд тяговых батарей производить в отдельных помещениях с естественной вентиляцией. При этом заряд батарей должен производиться в специально отведенных и огражденных для этой цели местах, обеспеченных местными вытяжными устройствами, желательно у наружных стен здания с оконными проемами, с одновременным количеством машин или батарей не более двух.

При соблюдении этих требований в отношении пожаро- и взрывоопасности помещения класс не изменяется.

Специальные зарядные станции допускается пристраивать и встраивать к зданиям и помещениям с производствами всех категорий по взрывной и пожарной опасности и размещать на этажах многоэтажных зданий при условии расположения их у наружных стен и выполнения мероприятий, изложенных в [28], и при защите от попадания газов в вышерасположенные этажи. Запрещается располагать зарядные станции в подвалах, под производствами с мокрым технологическим процессом (моечные, душевые и т. п.), непосредственно под (и над) помещениями, в которых могут длительно находиться более 50 чел., а также под буфетами, красными уголками и т. п.

Зарядные станции рекомендуется выполнять с естественным освещением с матовым или покрытым белой клеевой краской остеклением. Как исключение зарядные станции могут не иметь естественного освещения.

В помещениях зарядных станций могут выделяться помещения, перечисленные в табл. 3.36 (с характеристикой их среды). Электрооборудование выбирается в соответствии с табл. 3.37.

Зарядные помещения относятся к производствам категории А и должны от всех других зданий и помещений отделяться глухими пы-

Таблица 3.36. **Распределение помещений зарядных станций по характеристике среды**

Помещения станции	Характеристика среды
Зарядный зал:	
верхняя зона	На $^2/_3$ высоты от пола В-Iб, любая взрывозащита для 4Т1
нижняя зона	Нормальная. Допускается IP41
Вытяжная вентиляционная камера для зарядного зала. Отсос из верхней и нижней зон	Как для верхней зоны
Стоянка самоходных машин, механическая мастерская, ремонт аккумуляторов, помещение преобразователей, дистиллляторная	Нормальная
Административно-бытовые	Нормальная (душевые и т. п.— влажная)
Приготовление электролита, кладовая химикатов	Химически активная, влажная

легазонепроницаемыми стенами и перекрытиями с пределом огнестойкости не ниже 0,75 ч.

Сообщение зарядного помещения с производственными помещениями категорий А, Б и Е, как правило, не допускается. Однако когда эти производственные помещения обслуживаются электропогрузчиками во взрывозащищенном исполнении, а также когда производственные помещения относятся к категориям В и Г, сообщение с зарядными помещениями разрешается осуществлять через тамбур, с производствами категории Д — непосредственно через ворота (без тамбура). Высота ворот не должна превышать нижней границы взрывоопасной зоны.

Для естественного освещения зарядных помещений в одноэтажных зданиях и на верхних этажах многоэтажных зданий рекомендуется применять фонари с открывающимися фрамугами.

Вентиляционные системы зарядного помещения должны обслуживать только зарядное помещение и выполняться в соответствии с [28].

Естественная вентиляция в зарядном помещении и в помещениях хранения заряженных батарей должна обеспечивать об[illegible] воздуха с кратностью 0,25 объема искусственной вентиляции, вычисленного по [28], но не менее одиократного объема помещения в час.

В рабочей зоне концентрация по серной

Таблица 3.37. **Выбор электрооборудования и электропроводок для зарядных станций аккумуляторов**

Электрооборудование и электросети	Помещения зарядной станции, рекомендуемое оборудование*1				
	Зарядный зал		Стоянка машин, механическая мастерская, ремонт аккумуляторов, преобразователи, дистилляторные	Кладовая химикатов, приготовление электролита	Бытовые помещения
	Верхняя зона, вытяжная вентиляционная камера	Нижняя зона			
Двигатели	АИМ	15, 20, 31	15, 20, 31	(9, 31)*5	9, 15, 31
Аппараты управления и защиты	ПМ700А*2	12, 24, 34	12, 24, 34	(39, 32, 34)*5	23, 24, 34
Кнопки управления	КУ700*2	25, 34	25, 34	26	26
Силовые пункты и шкафы станций управления	—	16, 18	16, 18	—	16, 18
Выпрямители	—	IP21	IP21*4	—	—
Зажимы для присоединения аккумуляторов	—	IP00	IP00*4	—	—
Краны	(В4Т1, Н4Т1)*3	—	IP23, IP44	—	—
Крановые сети	КРПСН по рис. 3.5, *б*	—	Угловая сталь или гибкий кабель по рис. 3.5, *а*	—	—
Силовые сети	АПВ, АПРТО в газовых трубах	АПВ, АПРН на лотках, по стенам АППВ	АПВ, АПРН на лотках, по стенам АППВ	АПВ на изоляторах, АППВС в пластмассовых трубах	АПВ, АППВ, АПРИ по стенам

*1 См. примечания к табл. 3.34.
*2 Для взрывозащищенного оборудования в таблице указаны типы (подробнее см. § 3.19, 3.30).
*3 Допускаются краны IP44 при условии установки газоанализаторов, автоматически отключающих питание кранов при появлении концентрации водорода, превышающей 20 % нижнего концентрационного предела воспламенения.
*4 При заряде батарей непосредственно в помещении стоянки.
*5 Должны быть в химически стойком исполнении.

кислоте — не более 1 мг/м^3, а по щелочи (в пересчете на NaOH) — не более 0,5 мг/м^3. Объем рабочей зоны определяется исходя из высоты 2 м от уровня пола (площадки), где находятся работающие.

В качестве зарядных устройств следует применять выпрямительные устройства согласно табл. 3.38.

Аккумуляторные батареи, как правило, заряжаются на специальных стеллажах, установленных в зарядных помещениях. При небольшом числе самоходных машин зарядка батарей разрешается на машинах без съема их на стеллажи.

Количество водорода, выделяемого тяговыми кислотными и щелочными аккумуляторами во время заряда, определяется по формуле, л,

$$V_{H_2} = 0{,}2 I_з t_з, \qquad (3.5)$$

где $I_з$ — зарядный ток, А; $t_з$ — время заряда, ч.

Сведения о количестве газов и тепла, выделяемых при заряде, приведены в табл. 3.39.

В зарядном зале, электролитной, аккумуляторной мастерской и кладовой химикатов стены, полы, потолки, двери, окна, а также все конструкции и короба должны быть окрашены щелоче-кислотоупорной краской.

Максимальная температура в зарядном помещении не должна превышать 30 °С, так как при высокой температуре может возникнуть необходимость в дополнительном воз-

Таблица 3.38. **Основные технические данные зарядных устройств**

Тип зарядного устройства	Напряжение питающей сети, В, ±10 %	Пределы регулирования выпрямленных		Вид охлаждения	Климатическое исполнение	Степень защиты	Тип заряжаемых батарей
		напряжения, В	тока, А				
УЗА60/33*[1]	380	24—33	24—60	Естественное воздушное	У2, У4.2	IP21	12ЭН-4001*[2]
УЗА70/68		46—68	50—70				34ТЖНК-300, 34ТЖНК-300П, 34ТЖНК-300ВМ, 34ТЖН-350П, 34ТЖНК-350, 36ТЖНК-300, 36ТЖН-350
УЗА120/68		46—68	90—120				34ТЖНК-550, 36ТЖНК-600
УЗА80/75		54—75	67—80		УХЛ4.2	IP20	40ТЖН-400
УЗА-80-110		60—110	32—80		Т4		12ЭН-400, 20ЭН-200
УЗА-250-100 УЗА-150-80	380*[3]	50—100 32—80	150—250 55—150		У4 У4, Т4		ТЖН-950, 70ТЖН950 ТЖН (250—600 А·ч)
УЗА-100-200 ЗУК-75-120М-РП*[5]	380	70—200 77—100	50—100 75		У5, Т5	IP2X	96ЭНЖ-200 66ТЖН-300, 66ТЖНШ-300п, 36ТЖН-300
ЗУК-155/230М-РП*[5]	380/660	124—225	125—155	Принудительное воздушное	У5, Т5	IP2X	80ТЖН-350, 96ТЖН-350, 96ТЖН-450, 96ТЖНШ-400, 112ТЖН-450, 112ТЖНШ-500, 126ТЖН-450*[4]
ВАЗ-70-150	380/220	30—70	63—125		У2, У4-2		28ТЖН-250, 26ТЖН-300, 24ТЖН-500, 32ТЖН-500
УЗА-160-320*[5] УЗА-200-230*[5]	660/380 660/380	320 230	160 200		У5 У5	IP55*[6] IP55*[6]	

*[1] В устройствах УЗА батарея отключается автоматически по окончании заряда в фуикции времени. Время может устанавливаться 3, 4, 5, 6, 7 и 8 ч. Зарядиый ток и время заряда принимаются по паспорту аккумуляторной батареи.

*[2] Батареи ЭН — кислотные.

*[3] Поставляются также на 400 и 415 В, кроме того, на 60 Гц — 220, 380 и 440 В.

*[4] Повышенной надежности против взрыва (РП для шахт).

*[5] Для шахтиых электровозов.

*[6] Степень шкафа управления. Прочие элементы IP33.

Таблица 3.39. **Газо- и тепловыделение и расход воздуха на охлаждение щелочных аккумуляторов при заряде**

Тип аккумулятора	Выделение водорода, л		Интенсивность тепловыделения при заряде (тепловая мощность), Вт	Необходимое количество воздуха на охлаждение одного аккумулятора, м³/ч
	за время полного 7-часового заряда	за первые сутки саморазряда батарей типа ТЖН		
ТЖН-250 (ТКН)	62,5	12,5	16,5	20
ТЖН-300 (ТКН)	75	15	19	22
ТЖН-350 (ТКН)	90	17,5	22,5	24
ТЖН-400 (ТКН)	105	20	25	26
ТЖН-450 (ТКН)	125	22,5	29	28
ТЖН-500 (ТКН)	125	25	31,5	30
ТЖН-550 (ТКН)	140	27,5	35	32
ТЖН-950 (ТКН)	217	47,5	50	34(20)

Примечания: 1. В скобках приводится средний расход воздуха на один аккумулятор, находящийся в батарее.

2. Выделение водорода при саморазряде аккумуляторов ТКН примерно вдвое меньше, чем аккумуляторов ТЖН.

душном охлаждении батарей при заряде (табл. 3.39).

Зарядная станция должна быть оборудована устройством для нейтрализации щелочных и кислотных стоков.

Д. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

3.16. АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ЕДИНОЙ СЕРИИ АИ ДО 315 кВт НА НАПРЯЖЕНИЕ ДО 660 В

Двигатели серии АИ общепромышленного назначения основного исполнения предназначены для привода механизмов, не требующих особых характеристик. Однако они могут работать в режиме АС4 с частотой включения до 1200 в час. Кроме основного исполнения машины выпускаются в модификациях для привода специальных механизмов, эксплуатирующихся во взрывоопасных средах, в средах, содержащих химически вредные вещества, и т. п. Двигатели могут работать в умеренном, холодном и тропическом климате при рабочей температуре от —60 до 45 °С. Двигатели, предназначенные для работы в условиях УХЛ2,5; Т2,5, имеют степень защиты IP54, а в условиях УХЛ3, Т3 — степень защиты IP44 (вводная коробка IP54). Двигатели рассчитаны для эксплуатации на высоте до 1000 м над уровнем моря. При других высотах к их номинальной мощности вводятся следующие поправочные коэффициенты:

Высота, м	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4300
Коэффициент	0,98	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76

Если одновременно с увеличением высоты будет снижаться по сравнению с нормированной температурой окружающей среды, то снижение нагрузочной способности может и не потребоваться.

Напряжения, на которые изготовляются двигатели и схемы соединения обмоток, приведены в табл. 3.40. Мощности, номинальные токи и габариты даны в табл. 3.23.

Кратность пусковых токов двигателей при числе полюсов 2 и 4 достигает 7—7,5, а при числе полюсов 6 и более, как правило, не превышает 6,5. Кратность пускового тока может повышаться до 20 %.

Структура условных обозначений двигателей серии АИ основного исполнения и их модификаций приведена в табл. 3.41.

Вводные устройства допускают присоединение к двигателям бронированных и небронированных кабелей с бумажной или резиновой изоляцией, а также проводов и кабелей с резиновой изоляцией в резиновой и пластмассовой оболочках. Вводы могут быть защищены металлорукавом или стальной трубой. Вводное устройство выполнено в коробках зажимов по типу КЗ-2 и КЗ-3 и располагается при двигателях с высотами оси вращения до 250 мм сверху. При высотах 280—355 мм коробки

Таблица 3.40. **Номинальные напряжения, схемы соединения обмоток и характеристика вводов питающих проводов для двигателей серии АИ. Частота сети 50 и 60 Гц**

Мощность, кВт	Номинальное напряжение, В	Схема соединений	Число вводных концов	Мощность, кВт	Номинальное напряжение, В	Схема соединений	Число вводных концов
0,06—0,37	220 и 380	Δ или Y	3	15—110	220/380, 380/660	Δ/Y	6
0,55—11	220, 380 и 660			132—315	380/660		

Таблица 3.41. **Структура условных обозначений модификаций электродвигателей серии АИ**

Исполнение	Пример условного обозначения	Расшифровка обозначений
Основное	АИР200А2БУХЛ3, АИСХ90S4Т2	А — асинхронный И — интерэлектро, унифицированная серия двигателей Р, С — привязка мощности к установочному размеру Х — алюминиевый корпус 50, 90, 280 и т. д. — высота оси вращения, мм А, В — длина сердечника магнитопровода S, M, L — установочный размер по длине станины 2, 4, 6 — число полюсов Б — встроенная температурная защита УХЛ3, Т2 — климатическое исполнение и категория размещения
Дополнительная	АИРИ80В6ПБУ3, Т3, АИРУ160L6Х1У5, Т5, АИРМ180М2Х2БУ5, АИРС60В6УХЛ3, Т3, АИРФ160А42ПУХЛ4, АИСХ132В6/4	И — для текстильной промышленности У — взрывозащищенное рудничное М — знак взрывозащиты по группе ПВ С — повышенное скольжение П — повышенная точность Х1, Х2 — химически стойкое исполнение Ф — с пристроечным вентилятором 6/4 — двухскоростной на 6 и 4 полюса

Таблица 3.42. **Синхронные электродвигатели 10 кВ**

Мощности двигателей и исполнение									
СТД-У4 — нормальное; СТД-У4 — взрывозащищенное; СТДП	ДСП	СДН/СДНЗ, СДС/СДСЗ-У3; СДЭ-2-У2, ХЛ2	СДН/СДНЗ, СДС/СДСЗ-У3	СДН/СДНЗ, СДС/СДСЗ-У3, У4	СДК-2 — нормальное; СДКП-2-У4 — взрывозащищенное	СДН/СДНЗ, СДС/СДСЗ-У3, У4	СДМЗ-2-У4		
при числе полюсов									
2	4	6	8	10	12	12	16	40	60
—	—	—	—	—	—	315	—	—	—
—	—	—	—	—	—	400, 500*5	—	—	—
630	—	—	630	630	630	630	630	630	—
800	—	800	800	—	800	—	—	800	—
1000	—	1000	—	1000	1000*3	—	—	—	1000
1250	—	1250	—	1250	1250*3	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1400	—	—
1600	—	1600	1600	—	1600*4	—	—	1600	1600
2000	—	2000	—	—	—	—	—	2000	2000*6
2500	2500	2500*1	—	—	—	—	—	2500	—
3200	—	—	3200*2	—	—	—	—	3200	—

*1 Есть МС180.
*2 Только МС213.
*3 Только ВДС.
*4 Есть ВДС.
*5 Только СДКП.
*6 Есть СДСЗ.

Условные обозначения: СДН — синхронный двигатель нормальный; СДНЗ — нормальный закрытый; СДС — специальный; СДСЗ — специальный закрытый; СДК — компрессорный; СДКП — компрессорный, взрывозащищенный, продуваемый под избыточным давлением; СТД — трехфазный; СТДП — трехфазный продуваемый; СДМЗ — для привода мельниц закрытого исполнения; СДЭ — экскаваторный; МС — машина синхронная; ВДС — вертикальный двигатель синхронный.

Таблица 3.43. **Синхронные электродвигатели 380 В**

Мощность двигателей различных типов			
СД-2, СДЗ	СД-100-8, СДЗ	СОЗ	СД-2, БСДКМ, БСДКПМ, СДЗ
при числе полюсов			
6	8	10	12
—	75	—	—
—	—	—	125
—	—	160	160
—	200	200	200
250	250	250	—
320	320	320	315

Условные обозначения: СД-2 — синхронный двигатель модернизированный; СДЗ — закрытого исполнения; БСДКМ, БСДКПМ — компрессорный, продуваемый под избыточным давлением.

располагают справа со стороны рабочего вала (или слева). Коробки позволяют осуществлять разворот на 180°. Степень защиты коробок IP54. Зажимы допускают присоединение проводников с алюминиевыми и медными жилами (для модификации с буквами М и У).

Двигатели выпускают с одним свободным концом вала; по требованию заказчика они могут быть изготовлены с двумя концами вала. Суммарная мощность на обоих концах не должна превышать номинальной.

3.17. СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10 И 0,38 кВ

Номенклатура синхронных электрических машин, поставляемых для внутрисоюзного применения, а также для поставки на экспорт в страны с умеренным и тропическим климатом, представлена в табл. 3.42 и 3.43. При заказе электрических машин на 10 кВ необходимо предварительно получить согласие завода-изготовителя на их поставку. Номенклатура синхронных машин на 6 кВ в Справочнике не приводится (см. каталоги Минэлектротехпрома).

3.18. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЕДИНОЙ СЕРИИ 2П ДО 200 кВт * НА НАПРЯЖЕНИЕ ДО 440 В

Двигатели постоянного тока серии 2П предназначены для замены двигателей серий П, ПС и ПБС.

Двигатели изготовляют на напряжение 110, 220, 340, 440 В с самовозбуждением, а также с независимым возбуждением 110 или 220 В. Двигатели могут поставляться компенсированными со стабилизированной последовательной обмоткой. При проектировании электропривода в целях экономии проводниковых материалов, удешевления установки и снижения эксплуатационных расходов следует применять двигатели мощностью выше 10 кВт на напряжение не ниже 220 В, при мощности выше 30 кВт — не ниже 440 В.

Двигатели предназначены для применения в металлургической и других отраслях промышленности, где для механизмов требуется регулирование частоты вращения.

Все машины серии 2П допускают регулирование частоты вращения в сторону увеличения путем ослабления магнитного поля при неизменной мощности в пределах от 1:2 до 1:4, а также в сторону уменьшения при неизменном моменте вращения.

Способ охлаждения и степень защиты основного исполнения машин серии 2П и ее модификаций указываются в структуре условных обозначений, например 2ПН(Б,О,Ф)90М(L)ГУ4, где

2П — новая единая серия машин постоянного тока;
Н — защищенное (основное) исполнение с самовентиляцией, IP23;
Б — закрытое исполнение с естественным охлаждением, IP44;
О — закрытое исполнение с обдувом, IP44 (коробку вводов для всех исполнений изготовляют со степенью защиты IP44);
Ф — защищенное исполнение с независимой вентиляцией, IP23; 90, 100, 112 и т. д. — высота оси вращения, мм;
М — первая условная длина сердечника;
L — вторая условная длина сердечника;
Г — исполнение с тахогенератором (может быть для любого исполнения);
У4 — климатическое исполнение и категория размещения.

* Двигатели мощностью свыше 200 кВт выпускаются с высотой оси вращения 355—800 мм.

Таблица 3.44. **Технические данные двигателей постоянного тока единой серии 2П при напряжении сети 220 В**

Габарит	Исполнение 2ПН			Исполнение 2ПБ			Исполнение 2ПО		
	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения
90M	0,17	1,32	750	0,13	1,05	750	—	—	—
	0,25	1,73	1120	0,18	1,29	1000			
	0,37	4,93*	1500	0,28	1,82	1500			
	0,71	4,26	2360	0,4	2,46	2200			
	1,0	5,85	3000	0,55	3,29	3000			
90L	0,22	1,53	800	0,18	1,29	750			
	0,34	2,2	1000	0,25	1,69	1120			
	0,55	6,66*	1500	0,37	2,28	1500			
	0,9	5,06	2120	0,53	3,09	2240			
	1,3	7,2	3150	0,75	4,24	3150			
100M	0,37	2,5	750	0,26	1,74	800			
	0,5	3,1	1000	0,37	2,32	1000			
	0,75	8,7*	1500	0,60	3,51	1600			
	1,2	6,75	2200	0,85	4,73	2360			
	2,0	11	3000	1,2	6,6	3150			
100L	0,42	2,75	750	—	—	—			
	0,63	3,88	1060						
	1,1	12,7*	1500						
	1,7	9,29	2200						
	2,2	11,6	3150						
112M	0,6	3,9	800	0,34	2,23	750			
	0,85	5,3	950	0,45	2,76	1060			
	1,5	17,5*	1500	0,75	4,33	1500			
	2,5	13,8	2200	1,1	5,13	2200			
	3,6	19,3	3000	1,4	7,74	3000			
112L	0,8	5	750	0,4	3,0	800			
132M	1,6	9,4	750	1,1	6,8	800	1,3	6,87	800
	2,5	14,2	1000	1,6	9,5	1000	1,8	10,6	1000
	4	21,8	1500	2,4	13,2	1600	2,8	15,4	1500
	7	36,7	2240	3,7	19,7	2360	4,5	24,1	2240
	10,5	54,7	3000	4,5	24,2	3150	5,5	28,6	3000
132L	1,9	10,9	750	1,3	7,5	800	1,61	9,2	750
	3	13,9	1000	1,9	10	1060	2,2	12,1	1000
	5,5	5,9*	1500	3,2	17	1600	3,4	18,1	1600
	8,5	44	2200	4,5	23,5	2200	5,3	27,4	2200
	14	72	3150	5,3	27,5	3000	6,7	34	3000
160M	3	16,6	750	2,1	11,6	750	2,5	13,9	750
	4,5	24,1	1000	2,5	13,4	1000	3,2	17,3	1000
	7,5	78,5*	1500	4,2	21,9	1500	6	31,3	1600
	13	66,5	2200	6,0	30,7	2120	8	41,1	2240
	18	92	3150	7,1	36,5	3000	9,5	48,6	3000
160L	4	21,8	800	2,5	13,6	800	3,2	17,3	750
	6,3	33,4	1000	3,2	16,9	1060	4	21,1	1000
	11	28**	1600	5,3	27,4	1500	7,1	36,6	1500
	16	80,5	2360	7,5	37,9	2240	10	50,3	2360
	24	120	3150	8,1	41,7	3350	12	60,1	3000

Продолжение табл. 3.44

Габарит	Исполнение 2ПН			Исполнение 2ПБ			Исполнение 2ПО		
	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения
180M	5,6	30	750	3,4	18,1	800	4,5	24	750
	8	41,7	1060	4,5	23,4	1000	6,3	33	1000
	15	155*	1500	7,1	36,3	1500	10	50,5	1500
	26	130	2340	9,5	48,1	2200	14	70	2120
	37	185	3000	12	61,4	3350	17	85	3000
180L	7,1	37,6	750	4,2	22,2	750	5,2	27,4	800
	10	52,5	1000	5,6	29,7	1000	7,5	38,1	1000
	18,5	47,6**	1600	8,5	43	1600	16	79,5	2120
	30	74,6	2200	11	55,6	2200	20	100	3000
	42	104							
200M	8,5	44,5	800	—	—	—	6	31,7	750
	13	67	1120	—	—	—	9	46	1060
	22	55,6**	1500	—	—	—	14	70,5	1500
	36	181	2200	—	—	—	20	99	2360
	60	149**	3150	—	—	—	—	—	—
200L	11	57	800	6	31,7	800	7,1	37,2	750
	16	82	1000	8	40,6	950	11	56,1	1000
	30	74,5**	1600	11	56,2	1500	17	85,1	1500
	53	131	2360	15	75	2120	24	120	2360
	75	184**	3150	—	—	—	—	—	—

* При напряженнн сети 110 В.
** При напряжении 440 В.

Таблица 3.45. **Технические данные двигателей постоянного тока единой серии 2П прн напряженнн 220 В**

Габарит двигателя	Исполнение 2ПН		
	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения
225M	7,5	44	500
	11	63,6	650
	15	80	850
	22	122	1000
	37	191	1600
225L	15	86,6	600
	18,5	102	750
	26,5	144	1060
	30	162	1000
	45	234	1500
250M	15	85,3	530
	18,5	104	630
	22	123	750
	37	199	1000
	55	288	1500

Продолжение табл. 3.45

Габарит двигателя	Исполнение 2ПН		
	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения
250L	22	122	600
	28	154	750
	30	163	750
	45	239	1000
	75	383	1500
280M*	22	61	530
	30	81	600
	37	98	750
	45	118	750
	55	144	1000
	75	193	1000
	90	230	1500
	110	2800	1500
280L*	30	84	500
	55	143	750
	85	219	1000
	90	232	1060
	132	332	1500

Продолжение табл. 3.45

Габарит двигателя	Исполнение 2ПН		
	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Частота вращения
315М*	37	101	500
	45	120	600
	55	144	750
	100	258	1000
	110	282	1000
	160	404	1500
315L	45	118	500
	55	143	600
	75	194	750
	118	301	1000
	132	333	1060
	200	500	1500

* При напряжении 110 В.

Основные технические данные двигателей исполнений Н, Б, О приведены в табл. 3.44 и 3.45.

Двигатели поставляют с одним свободным концом вала, а при заказе могут быть поставлены с двумя. Сочленение с механизмом — любое, кроме машин с высотой оси вращения 160 и 180 мм, которые не допускают ременного сочленения.

Коробки вводов располагают сверху корпуса машины. Для двигателей с высотой оси вращения 90 и 100 мм коробку ставят сбоку.

Номинальный режим работы S1, но по согласованию может быть S2, ..., S8 (по ГОСТ 183—74 **).

Высота установки над уровнем моря — до 1000 м, при бо́льших высотах следует учитывать поправки, приведенные в § 3.16. Максимальная температура среды 40 °С. Если при большей высоте температура воздуха будет меньше номинальной, то поправка к номинальной мощности может не потребоваться.

3.19. ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Взрывозащищенные электродвигатели применяют для привода технологических механизмов, устанавливаемых во взрывоопасных зонах. Электродвигатели, предназначенные для работы во взрывоопасных парогазовоздушных смесях, могут быть использованы для работы во взрывоопасных пылевоздушных смесях. При этом температура тления или самовоспламенения горючих пылей и волокон для двигателей с маркировкой до 4Т4 должна быть не ниже 185 °С; с маркировкой 4Т5 — не ниже 150 °С.

Номинальный режим продолжительный, если не оговорен иной. Пуск асинхроиный, если не оговорен иной. Пуск асинхронных короткозамкнутых электродвигателей прямой, от полного напряжения сети. Пуск синхронных двигателей асинхронный, также от полного напряжения сети.

Расположенне вводных коробок и направление вращения вала двигателя (левое или правое) указаны, если смотреть на двигатель со стороны приводимого механизма.

Вводные устройства всех взрывозащищенных двигателей уплотнены и допускают ввод бронированных и гибких кабелей с сухой заделкой или с заливкой кабельной массой. Вводное устройство двигателей на напряжение до 1 кВ допускает также ввод изолированных проводов в стальной трубе.

Вид взрывозащиты или степень защиты оболочки применяемых во взрывоопасных зонах электрических машин следует принимать по табл. 3.32 (во взрывонепроницаемой оболочке или продуваемые под избыточным давлением в зонах классов В-I, В-Iа, В-Iг, В-II; общего назначения в оболочке со степенью защиты IP44 или IP54 в зонах классов В-Iб и В-IIа).

Охлаждение двигателей во взрывонепроницаемой оболочке — воздушное — вентилятором наружного обдува, насаженным на вал двигателя. Охлаждение двигателей, продуваемых под избыточным давлением, также воздушное с разомкнутым или замкнутым циклом вентиляции. В первом случае холодный воздух, поступающий снаружи, вентилятором продувается через оболочку двигателя, а нагретый выбрасывается наружу. Во втором случае воздух после продувания его через оболочку двигателя охлаждается в водяных воздухоохладителях и снова направляется в двигатель. Для продувки перед пуском чистым воздухом на двигателях предусмотрены плотно закрываемые клапанами люки.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ВО ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМОЙ ОБОЛОЧКЕ НА НАПРЯЖЕНИЕ 380 И 660 В

1. Серия В (заменяет серию ВАО) — асинхронные, трехфазные, на напряжение 380 или 660 В (по указанию заказчика). Переход с одного напряжения на другое (например, с 380 на 660 В) осуществляется пересоединением выведенных концов обмотки статора

с треугольника на звезду (или наоборот).

Коробки вводов у двигателей типов В63—В225 расположены сверху станины; В250—В280 — с правой стороны станины. Коробка вводов может быть повернута на угол, кратный 90°, что дает возможность вводнть питающие проводники с любой стороны двигателя. Вводимые кабели уплотняют во вводном устройстве коробки резиновыми кольцами.

Для присоединения зануляющих (заземляющих) жил кабеля или провода, а также брони и металлической оболочки кабеля внутри коробки имеется заземляющий зажим; такой же зажим имеется на наружиой стороне коробки для присоединения наружной магистрали зануления (заземления).

Основное исполнение — короткозамкнутые, маркировка В3Т4-В, для работы в помещениях и наружных установках со взрывоопасными парогазовоздушными смесями категорий и групп до 3Т4 (табл. 3.46). Степень защиты оболочки двигателя от пыли и воды IP54, оболочки вентилятора наружного обдува — IP20.

Специальные — для работы во взрывоопасных смесях категорий 4 и групп Т4-Т5, маркировка В4Т4-В и В4Т5-В; могут применяться в помещеннях и наружных установках, в которых возможно образование парогазовоздушиых взрывоопасных смесей категорий и групп до 4Т5. Двигатели изготовляют по специальному заказу мощностью 0,25—110 кВт.

Крановые (ВКр) — короткозамкнутые, маркировка В3Т4-В, для работы на подъемиотранспортиых механизмах в помещениях и наружных установках, в которых возможно образование взрывоопасных парогазовоздушных смесей категорий и групп до 3Т4.

Режим работы — кратковременный, продолжительность включения ПВ-25 %, пуск — прямой, от полного напряжения сети. Двигатели не имеют вентилятора наружного обдува, охлаждение — воздушное, естественное. Степень защиты оболочки IP54.

Электродвигатель ВКр имеет две вводные коробки: одну — для подключения к сети обмоток статора, другую — для подключеиия системы управления тормозом. Типы и мощности крановых электродвигателей приведены в табл. 3.47.

Вертикальные специальные (ВАСО) — короткозамкнутые, маркировка В3Т4-В, для безредукторного привода вентиляторов воздушного охлаждения АВЗ в помещениях и наружных установках, в которых возможно образование парогазовоздушиых смесей категорий и групп до 3Т4. Двигателн — реверсивные; направленные вращения меняют пе-

Таблица 3.46. **Типы и мощности электродвигателей серии В основного исполнения (В3Т4-В)**

Тип	Мощность, кВт
3000 об/мин	
B63A2	0,37
B63B2	0,55
B71A2	0,75
B71B2	1,1
B80A2	1,5
B80B2	2,2
B90L2	3
B100S2	4
B100L2	5,5
B112M2	7,5
B132M2	11
B160S2	15
B160M2	18,5
B180S2	22
B180M2	30
B200M2	37
B200L2	45
B225M2	55
B250S2	75
B250M2	90
B280S2	110
1500 об/мин	
B63A4	0,25
B63B4	0,37
B71A4	0,55
B71B4	0,75
B80A4	1,1
B80B4	1,5
B90L4	2,2
B100S4	3
B100L4	4
B112M4	5,5
B132S4	7,5
B132M4	11
B160S4	15
B160M4	18,5
B180S4	22
B180M4	30
B200M4	37
B200L4	45
B225M4	55
B250S4	75
B250M4	90
B280S4	110
1000 об/мин	
B71A6	0,37
B71B6	0,55
B80A6	0,75
B80B6	1,1
B90L6	1,5
B100L6	2,2
B112MA6	3
B112MB6	4
B132S6	5,5
B132M6	7,5
B160S6	11

Продолжение табл. 3.46

Тип	Мощность, кВт
B160M6	15
B180M6	18,5
B200M6	22
B200L6	30
B225M6	37
B250S6	45
B250M6	55
B280S6	75
B280M6	90
750 об/мин	
B112M8	3
B132S8	4
B132M8	5,5
B160S8	7,5
B160M8	11
B180M8	15
B200M8	18,5
B200L8	22
B225M8	30
B250S8	37
B250M8	45
B280S8	55
B280M8	75

Таблица 3.47. **Типы и мощности крановых электродвигателей ВКр (В3Т4-В)**

Тип	Мощность, кВт
1500 об/мин	
ВКр63А4	0,25
ВКр63В4	0,37
ВКр71А4	0,55
ВКр71В4	0,75
1000 об/мин	
ВКр112М6	4,0
ВКр132S6	5,5
ВКр132М6	7,5
ВКр180S6	11
ВКр180М6	15
ВКр80В6	1,1
ВКр90L6	1,5
ВКр100L6	2,2
ВКр112МА6	3,0
ВКр200М6	18,5
ВКр200L6	22
750 об/мин	
ВКр225М8	30
ВКр225L8	37

реключением двух фаз обмотки статора.

Двигатели изготовляют на напряжение 380 В, 250 об/мин, мощность 37, 75 и 90 кВт.

С контактными кольцами (ВАОК) — маркировка В1Т4-В, для работы в помещениях, в которых могут образоваться взрывоопасные смеси категорий и групп до 1Т4. Двигатели мощностью до 200 кВт изготовляют на напряжение 380/660 В; 250 кВт и более — на напряжение 660 В. Номинальный режим работы — продолжительный, пуск — реостатный. Двигатели имеют две вводные коробки: одну — для статора, другую — для ротора (табл. 3.48).

2. Серия ВАО (заменена серией В) — асинхронные, трехфазные, на напряжение 380 или 660 В. Для перехода с одного напряжения на другое обмотку статора переключают с треугольника на звезду или наоборот.

На двигателях серии ВАО в маркировке сохранилось старое обозначение группы самовоспламенения взрывоопасной смеси: А (боле 450 °С), Б (более 300 до 450 °С), Г (более 175 до 300 °С) и Д (120—175 °С), в отличие от обозначений, действующих в настоящее время (Т1, Т2, Т3, Т4 и Т5).

Основное исполнение — короткозамнутые, маркировка В3Г (взрывонепроницаемые, для взрывоопасных смесей категорий 3 и группы Г). Характеристики двигателей:

Частота, об/мин	Мощность, кВт
3000	0,30—315
1500	0,27—315
1000	0,40—315
750	2,2—250
600	17—200

Шкала мощностей двигателей серии ВАО мало отличается от шкалы мощностей двигателей серии В.

Таблица 3.48. **Технические данные электродвигателей с контактными кольцами типа ВАОК (В1Т4-В)**

Тип	Мощность, кВт	Ток ротора, А	Напряжение на контактных кольцах, В
1000 об/мин			
ВАОК315SA-6	90	260	240
ВАОК315В-6	110	290	250
ВАОК315М-6	132	290	300
ВАОК355М-6	200	350	375
ВАОК450S-6	250	315	470
ВАОК450М-6	315	315	600
750 об/мин			
ВАОК315S-8	75	270	190
ВАОК315М-8	90	260	235
ВАОК355SA-8	110	315	235
ВАОК355SB-8	132	240	250
ВАОК355М-8	160	355	300
ВАОК450S-8	200	290	420
ВАОК450М-8	250	290	525

Двигатели серии В (В4Д, табл. 3.49) с редуктором предназначены для автоматического и дистанционного управления трубопроводной запорной арматурой (ВАОРА-3) в помещениях и наружных установках с категорией и группой взрывоопасных смесей до 4Д.

Двигатели серии В (В3Г) герметичные, хнмически стойкие предназначены для автоматического и дистанционного управления трубопроводной запорной арматурой (АСВ-ГХ) во взрывоопасных смесях категорий и групп до 3Г. Корпус и крышка вводного устройства выполнены из нержавеющей стали. Ввод питающих линий кабелем или проводами в стальной трубе.

Двигатели АСВ-ГХ изготовляют на напряжение 220 и 380 В, 1500 об/мин, мощностью 0,18; 0,4 и 0,6 кВт.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ВО ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМОЙ ОБОЛОЧКЕ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 кВ

Серия АТД2 -- исполнение 2АЗМВ, короткозамкнутые, маркировка В3Т4-В, 6 кВ, 3000 об/мин. Предназначены для привода насосов нагнетателей, компрессоров и других быстроходных механизмов, устанавливаемых в помещениях с повышенной влажностью, в которых возможно образование взрывоопасных парогазовоздушных смесей категорий и групп до 3Т4.

Степень защиты оболочки двигателя IP44; оболочки вентилятора IP2X, где X (вторая цифра степени) принимается в зависимости от окружающей среды. Коробка вводов расположена на правой стороне корпуса статора. Направление — правое, по часовой стрелке. Электродвигатели АТД2 исполнения 2АЗМВ изготовляют мощностью 500, 630, 800, 1000 и 1250 кВт.

Серия ВАО — короткозамкнутые, маркировка В3Т4-В, на напряжение 6 кВ (табл. 3.50). Предназначены для работы в помещениях и наружных установках, в которых возможно образование взрывоопасных парогазовоздушных смесей категорий и групп до 3Т4.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, ПРОДУВАЕМЫЕ ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ЧИСТЫМ ВОЗДУХОМ

1. Серия АЗ-315 — асинхронные, короткозамкнутые, на напряжение 380/660 В, маркировка В4Т5-П. Двигатели по уровню взрывозащиты — взрывобезопасные. Предназначены

Таблица 3.49. **Технические данные электродвигателей для трубопроводной арматуры типа ВАОРА-3 (В4Д)**

Тип	Мощность, кВт	Частота вращения ведомого вала, об/мин*
380-82/6	0,4	82
380-55/10	0,4	55,6
380-28/20	0,4	28,4
345-82/10	0,6	82
345-55/15	0,6	55,6
345-28/30	0,6	28,4
345-82/13	0,8	82
345-55/20	0,8	55,6
345-28/39	0,8	28,4
360-82/18	1,1	82
360-55/28	1,1	55,6
360-28/55	1,1	28,4
360-82/25	1,5	82
360-55/38	1,5	55,6
360-28/75	1,5	28,4

* Частота вращения ведущего вала 1370 об/мин.

Таблица 3.50. **Типы и мощности электродвигателей ВАО на 6 кВ (В3Т4-В)**

Тип	Мощность, кВт
3000 об/мин	
ВАО450М-2	200
ВАО450L-2	250
ВАО500М-2	315
ВАО500L-2	400
1500 об/мин	
ВАО450М-4	200
ВАО450L-4	250
ВАО500М-4	315
ВАО500L-4	400
ВАО560М-4	500
ВАО560L-4	630
ВАО630М-4	800
ВАО630L-4	1000
ВАО710М-4	1250
ВАО710L-4	1600
ВАО800L-4	2000
1000 об/мин	
ВАО450L-6	200
ВАО500М-6	250
ВАО500L-6	315
ВАО560М-6	400
ВАО560L-6	500
ВАО630М-6	630
ВАО630L-6	800
ВАО710М-6	1000
ВАО710L-6	1250

Продолжение табл. 3.50

Тип	Мощность, кВт
750 об/мин	
ВАО500М-8	200
ВАО500L-8	250
ВАО560М-8	315
ВАО560L-8	400
ВАО630М-8	500
ВАО630L-8	630
ВАО710М-8	800
ВАО710L-8	1000

для привода насосов, вентиляторов, компрессоров и других механизмов, устанавливаемых во взрывоопасных зонах всех классов, кроме класса В-Iг. Двигатели пригодны для работы во взрывоопасных смесях всех категорий и групп до 4Т5, коробка вводов продуваемая, поворотная. Вводное устройство допускает сухую заделку кабеля. Двигатели АЗ-315 изготовляют мощностью 160 и 200 кВт при частоте вращения 3000 об/мин; 132, 160 и 200 кВт при 1500 об/мин; 110 и 132 кВт при 1000 об/мин; 90 и 110 кВт при 750 об/мин; 44 и 75 кВт при 600 об/мин.

2. Серия СТДП (заменяет серию СТМП) — синхронные, на напряжение 6 и 10 кВ, 3000 об/мин, маркировка В4Т5-П (табл. 3.51). Двигатели по уровню взрывозащиты — взрывобезопасные. Предназначены для привода насосов, компрессоров и газовых нагнетателей, устанавливаемых во взрывоопасных зонах классов В-Iа, В-Iб, со взрывоопасными смесями всех категорий и групп до 4Т5.

Таблица 3.51. **Технические данные электродвигателей серии СТДП (В4Т5-П), 3000 об/мин, cosφ=0,9**

Тип	Мощность, кВт	Данные возбуждения двигателей			
		6 кВ		10 кВ	
		Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А
СТДП-630-2У8	630	29	245	29	247
СТДП-800-2У4	800	34	275	34	373
СТДП-1000-2У4	1000	38	286	39	293
СТДП-1250-2У4	1250	45	276	45	273
СТДП-1600-2У4	1600	52	276	52	273
СТДП-2000-2У4	2000	59	290	59	290
СТДП-2500-2У4	2500	77	256	76	260
СТДП-3200-2У4	3200	89	269	89	270
СТДП-4000-2У4	4000	101	289	103	294
СТДП-5000-2У4	5000	118	294	118	293
СТДП-6300-2У4	6300	136	251	137	253
СТДП-8000-2У4	8000	156	261	156	262
СТДП-10000-2У4	10 000	190	270	182	259
СТДП-12500-2У4	12 500	226	290	227	291

Таблица 3.52. **Технические данные электродвигателей СДКП2 (В4Т5-П), cosφ=0,86**

Тип	Напряжение, кВ	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт	Данные возбуждения двигателей	
				Напряжение, В	Ток, А
СДКП2-16-24-12к	10	500	315	—	—
СДКП2-16-29-12к	10	500	400	—	—
СДКП2-16-36-12к	10	500	500	—	—
СДКП2-17-26-12к	10	500	630	—	—
СДКП2-18-41-16	6	375	1250	75	256
СДКП2-20-39-20	6	300	2500	105	300
СДКП2-20-56-16Ф	10	375	4000	118	290
СДКП2-21-46-24	6	300	5000	140	300

Степень защиты оболочки двигателя IP44. Направление вращения — левое, против часовой стрелки; охлаждение — воздушное, в режиме самовентиляции, по замкнутому циклу. Для охлаждения отработавшего воздуха используют водяные воздухоохладители, установленные по бокам статора вдоль его осн. Циркуляция охлаждающего воздуха в машине осуществляется внутренними вентиляторами, укрепленными по обе стороны бочки ротора.

3. Серия СДКП2 — синхронные, на напряжение 6 и 10 кВ, взрывобезопасные, проду-

Таблица 3.53. **Технические данные электродвигателей СДКМ2 6 кВ, 500 об/мин, cosφ=0,85**

Тип	Мощность, кВт	Данные возбуждения двигателей	
		Напряжение, В	Ток, А
СДКМ2-16-24-12к	315	29	295
СДКМ2-16-29-12к	400	30	285
СДКМ2-16-36-12к	500	35	285
СДКМ2-17-26-12к	630	40	285
СДКМ2-17-31-12к	800	46	305

ваемые под избыточным давлением чистым воздухом (табл. 3.52). Предназначены для привода оппозитных компрессоров во взрывоопасных зонах всех классов (кроме наружных установок класса В-Iг), со взрывоопасными смесями всех категорий и групп до 4Т5. Возбуждение — от тиристорных возбудителей ТЕ-8 (ТЕ-320).

4. Серия СДКМ2 (заменяет серию СДКМ) — синхронные, на напряжение 6 кВ, 500 об/мин (табл. 3.53). Предназначены для привода поршневых компрессоров, устанавливаемых во взрывоопасных зонах класса В-Iб. Исполнение — горизонтальное, консольное (ротор двигателя насаживается на консольный конец вала компрессора). Пуск — асинхронный, от полного напряжения сети, с разгруженным компрессором. Возбуждение — от комплектных тиристорных устройств ТВУ46-320. Степень защиты оболочки двигателя IP11. Охлаждение — воздушное, в режиме самовентиляции. Контактные кольца и траверсы заключены в уплотненный кожух (IP44), продуваемый под избыточным давлением. Направленне вращения — левое, против часовой стрелки.

Е. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК ДО 1 кВ

3.20. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

При выборе аппаратов управления следует учитывать в первую очередь режим работы для которого они предназначены. В зависимости от области применения аппаратов ГОСТ 12434—83Е устанавливает для них категории применения (табл. 3.54). Число циклов оперирования в зависимости от категории применения определяет коммутационную износостойкость аппаратов. Параметры, характеризующие коммутирование цепей в режиме нормальных коммутаций, приведены в табл. 3.55. Параметры цепей в режиме редких коммутаций в справочнике не приводятся.

При проектировании для обеспечения нормальных условий эксплуатации необходимо учитывать требование ГОСТ 15151—69 ** в отношении климатического исполнения аппаратов и категории их размещения. Должны быть выполнены также требования ГОСТ 14254—80, устанавливающие характеристики оболочек электрического оборудования по степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, а также защиту встроенного в оболочку оборудования от проникновения твердых тел и воды, могущих оказать на него вредное воздействие. В случае несоблюдения всех указанных требований завод-изготовитель не гарантирует надежную работу электрооборудования за время установленного срока его службы.

Для лучшего понимания вопросов, связанных с выбором электрооборудования, приведенного в таблицах настоящего раздела, необходимо привести некоторые разъяснения. Стандартом разрешается применять термин обозначения климатических категорий размещения изделий для обозначения места их размещения, например вместо: «изделие категории размещения 3» писать «изделие для помещения категории 3».

Приводимая в каталогах и технических условиях на электрооборудование допустимая для него температура среды соответствует согласно стандарту верхнему и нижнему рабочим значениям температуры воздуха. Под верхним значением рабочей температуры понимается средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура, а под нижним значением — средняя из ежегодных минимумов. Стандарт допускает также эксплуатацию изделий в исполнении для умеренного климата У1 в зоне холодного климата СССР в пределах полосы шириной 50 км от юго-западной и юго-восточной его границ. Следует также иметь в виду, что заводы не всегда могут обеспечить требуемые параметры оборудования. Особенно это относится к нижнему рабочему значению температуры изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях холодного климата ХЛ1, ХЛ2, ХЛ3. В качестве примера служат пускатели ПМЛ, которые согласно ТУ16-644-001-83 имеют климатическую категорию УХЛ2, но при этом нижнее значение температуры ограничено —40 °С вместо —60 °С, установленных стандартом для региона ХЛ2.

Исходя из изложенного, при проектировании объектов, строящихся в условиях холодного климата ХЛ1, ХЛ2, ХЛ3, необходимо уточнять по данным климатических наблюдений действительные значения температуры в данном районе. Для получения результатов необходимо, чтобы длительность ряда наблюдений температуры была не менее чем: на

Таблица 3.54. **Категория применения аппаратов в зависимости от рода тока и режима работы (области использования)**

Категория применения при токе		Область применения
переменном	постоянном	
АС1	ДС1	Электропечи сопротивления, неиндуктивная и малоиндуктивная нагрузка
АС2	—	Пуск и торможение противовключением двигателей с фазным ротором
АС3	—	Пуск и отключение вращающихся двигателей с короткозамкнутым ротором
АС4	—	Пуск и торможение противовключением двигателей с короткозамкнутым ротором
—	ДС2	Пуск и отключение вращающихся двигателей с параллельным возбуждением
—	ДС3	Пуск, отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей и торможение противовключением двигателей с параллельным возбуждением

Продолжение табл. 3.54

Категория применения при токе		Область применения
переменном	постоянном	
—	ДС4	Пуск и отключение вращающихся двигателей с последовательным возбуждением
—	ДС5	То же, что и ДС3, но двигателей с последовательным возбуждением
АС11	ДС11	Управление электромагнитами
АС20	ДС20	Коммутация электрических цепей без тока или с незначительным током
АС21	ДС21	Коммутация активных нагрузок, включая умеренные перегрузки
АС22	ДС22	То же, что АС21 и ДС21, но смешанных нагрузок
АС23	ДС23	Коммутация двигателей или других высокоиндуктивных нагрузок

Таблица 3.55. **Условия коммутирования цепей в зависимости от категории применения, определяющие коммутационную износостойкость аппаратов. Режим нормальных коммутаций**

Категория применения при токе		Номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$, А	Включение			Отключение			
			$\frac{I_к}{I_{ном.р}}$	Характер цепи		$\frac{I_к}{I_{ном.р}}$	$\frac{U_{вз}}{U_{ном.р}}$	Характер цепи	
переменном	постоянном			$\cos\varphi$ $\pm 0{,}05$	τ, мс, $\pm 15\,\%$			$\cos\varphi$ $\pm 0{,}05$	τ, мс, $\pm 15\,\%$
АС1 АС21	ДС1 ДС21	Все значения	1	0,95	1	1	1	0,95	1
АС2	—		2,5	0,65	—	2,5		0,65	—
АС3		До 17	6			1	0,17		
		Свыше 17		0,35				0,35	
АС4		До 17		0,65		6	1	0,65	
		Свыше 17		0,35				0,35	

Продолжение табл. 3.55

Категория применения при токе		Номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$, А	Включение			Отключение			
			$\frac{I_к}{I_{ном.р}}$	Характер цепи		$\frac{I_к}{I_{ном.р}}$	$\frac{U_{вз}}{U_{ном.р}}$	Характер цепи	
переменном	постоянном			cosφ ±0,05	τ, мс, ±15 %			cosφ ±0,05	τ, мс, ±15 %
АС11	ДС11	Все значения	10	0,7	До 300	1		0,4	До 300
АС22	ДС22		1	0,65	2			0,65	2
—	ДС23			—	7,5			—	7,5
АС23	—	До 17		0,65	—			0,65	—
		Свыше 17		0,35				0,35	
—	ДС2	Все значения	2,5	—	2		0,1	—	7,5
	ДС3					2,5	1		2
	ДС4				7,5	1	0,3		10
	ДС5					2,5	1		7,5

Примечания: 1. Переменный ток выражен действующим значением симметричной составляющей. В таблице приняты обозначения: $I_к$ — коммутируемый ток, А; $U_{вз}$ — возвращающееся напряжение при отключении, В; отношение напряжения перед включением (U) к номинальному ($I_{ном.р}$) во всех случаях равно единице.

2. Расшифровку категорий применения аппаратов см. в табл. 3.54.

3. Параметры цепей в режиме редких коммутаций см. в ГОСТ 12434—83*Е.

равнинах — 15 лет, в горах — 25 лет и на островах — 10 лет. Если оказывается, что нижнее рабочее значение температуры менее допущенного для изделия, то оно должно размещаться в помещениях УХЛ4 или в помещениях категории 3.1 (ХЛ3.1).

3.21. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ВРУБНЫЕ СЕРИИ ВР32

Выключатели ВР32 предназначены для неавтоматической коммутации электрических цепей напряжением до 660 В и частотой 50 и 60 Гц переменного и до 440 В постоянного тока. Аппараты изготовляют в одно-, двух- и трехполюсном исполнениях. Для определения полюсности и вида аппарата на месте цифрового обозначения ставят: для выключателей — цифры 1, 2 и 3 (один, два и три полюса), а для переключателей — соответственно цифры 5, 6 и 7. Аппараты могут поставляться со вспомогательными контактами (технические данные контактов см. в табл. 3.84).

Аппараты имеют следующие исполнения рукоятки ручного привода:

а) боковая несъемная (правая или левая);

б) боковая смещенная (съемная или несъемная) для встройки в комплектные устройства (со стороны привода степень защиты IP32 или IP54);

в) передняя несъемная, в остальном — по п. б), но степень защиты со стороны привода IP32;

г) с несъемным рычагом для управления штангой.

Выключатели и переключатели допускают следующие категории применения:

Номинальный ток аппарата, А	100 — 630		100 — 400	100
Категория применения (по табл. 3.54)	АС20	АС21	АС22	АС23
	ДС20	ДС21	ДС22	ДС23

Все аппараты с боковой рукояткой (по пп. а и б) предназначены для коммутации цепей без тока (категорий АС20, ДС20, АС21, ДС21).

Основные параметры аппаратов при степени защиты IP00 следующие:

Номинальный ток, А	Электродинамическая стойкость, кА	Термическая стойкость, $кА^2 \cdot с$
100	20	50
250	40	120
400	65	240
630	80	512

Механическая износостойкость (число циклов ВО): 16 000 при токе до 250 А; 10 000 при токе 400 — 630 А.

Климатическое исполнение аппаратов УХЛ-3, Т3.

3.22. РАЗЪЕДИНИТЕЛИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ СЕРИИ РЕ19

Аппараты предназначены для нечастых коммутаций без тока электрических цепей до 1 кВ, 50 и 60 Гц переменного и до 1200 В постоянного тока и изготовляются в одио-, двух- и трехполюсном исполнении. Аппараты имеют следующие исполнения ручного привода:

а) центральная рукоятка;

б) боковая смещенная на конце приводного вала;

в) то же для управления аппаратом, размещенным в шкафу или на щите;

г) с рычагом для управления штангой или рукояткой при пополюсном оперировании.

Рукоятки по пп. «б», «в», «г» могут быть как правого, так и левого исполнения.

Аппараты поставляют с 2з и 2р вспомогательными контактами, а переключатели — с 2з и 2р на каждом направлении (технические данные контактов см. в табл. 3.84). Аппараты до 4000 А допускают присоединение как медных, так и алюминиевых шин, а на 6300 А — только медных.

Основные параметры аппаратов приведены в табл. 3.56.

При пополюсном оперировании аппараты поставляют с 1з и 1р контактом и на каждый полюс.

3.23. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СЕРИЙ ВА51, ВА52, ВА53, ВА55, ВА56 И ВА75

Выключателями новых серий ВА50 заменяют выключатели устаревших серий АЕ3700, АЕ20 и др., а также серий АВМ и «Электрон» на токи до 1600 А. Выключателями ВА75 полностью заменяют выключатели серии АВМ и «Электрон» до 4000 А. Новые серии выключателей решают многие проблемы защиты электрических сетей, возникающие в связи с ростом мощности источников электроэнергии и соответствующим увеличением тока КЗ. Уменьшенные при этом габариты выключателей позволяют значительно сократить размеры комплектных устройств (КТП, НКУ и т. п.). В зависимости от области применения и значения предельной коммутационной способности выключатели выбирают так, как указано в табл. 3.57, в которой приведены номера

Таблица 3.56. **Технические данные разъединителей и переключателей серии РЕ19**

Тип аппарата	Номинальный ток, А	Стойкость		Климатическая характеристика и категория размещения	Степень защиты	Механическая износостойкость (число циклов ВО)
		электродинамическая, кА	термическая, $кА^2 \cdot с$			
РЕ19-41	1000	85	2500	УХЛ3,Т3	IP00	6300
РЕ19-43	1600	100	3200			
РЕ19-41	800	85	2500	УХЛ2,Т2	IP41	
РЕ19-43	1280	100	3200			
РЕ19-45	2500	120	5000	УХЛ3,Т3	IP00	4000
РЕ19-47	4000	160	12 000			
РЕ19-49	6300	200	16 000			

Примечания: 1. Аппараты постоянного тока допускают повышение длительной нагрузки на 20 %.

2. Аппараты на 1000 и 1600 А допускают присоединение к шинопроводам типа ШМА.

соответствующих таблиц с техническими данными выключателелей.

Выключатели предиазначены для работы в сетях переменного и постоянного тока. Двухполюсные выключатели для постоянного тока имеют такой же габарит, как и трехполюсные, но у них отсутствует средний полюс.

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

Выключатели допускают перегрузку в аварийных режимах в течение 3 ч при условии, что перед этим они были нагружены не более чем на 0,7 $I_{ном}$.

Выключатели до 100 А имеют только стационарное исполнение. Выключатели на 160 А имеют стационарное и втычное исполнения. Выключатели на 250 А и выше имеют как стационарное, так и выдвижное исполнение, за исключением ВА75-47 на 4000 А, имеющего только стационарное, и ВА75-45 на 2500 А, имеющего только выдвижное исполнение. Выключатели выдвижного исполнения поставляются на тележках со всеми элементами, необходимыми для монтажа в комплектных распределительных устройствах, в том числе с втычными контактами главных и вспомогательных цепей.

При заказе выключатели поставляют с ручным или с дистанционно управляемым приводом. Серия ВА50 имеет электромагнитный привод, а серия ВА75 — электродвигательный привод, допускающий переход (при ремонте и наладке) на ручное оперирование. Электроприводы поставляют на напряжение постоянного тока до 220 В и переменного тока до 240 В 50 и 60 Гц и надежно действуют при отклонениях напряжения в пределах $(0{,}85 \div 1{,}1)\ U_{ном}$. Кроме того, по заказу все выключатели могут поставляться со следующими расцепителями и контактами, допускающими работу при постоянном токе до 220 В и переменном до 660 В 50 и 60 Гц:

а) с независимым расцепителем в случае необходимости дистанционного отключения, при отсутствии дистанционного привода;

б) нулевым или минимального напряжения (данные приведены в табл. 3.58), без выдержки или с выдержкой времени;

в) свободные контакты до 5 шт. по табл. 3.60.

Таблица 3.57. **Сводная таблица автоматических выключателей ВА50**

Вид коммутационной способности	Номинальный ток выключателей, А	Типы выключателей, вид расцепителей и номера таблиц с основными техническими данными							
		тепловой и электромагнитный		полупроводниковый		полупроводниковый (селективный)		без расцепителей	
		тип	табл.	тип	табл.	тип	табл.	тип	табл.
Средняя	25—160	ВА51, ВА51Г	3.61	—	—	—	—	—	—
	25—630	ВА52, ВА52Г	3.62	—	—	ВА55	3.63	—	—
Повышенная	400—1600	—	—	ВА53*	3.63	—	—	ВА56	3.64
	2500—4000	—	—	—	—	ВА75	3.63	—	—

* С токоограничивающей способностью.

Таблица 3.58. **Характеристика расцепителей напряжения автоматических выключателей**

Вид расцепителей напряжения	Действие расцепителей при напряжении в долях номинального			
	должны обеспечивать отключение	не должны отключать	не должны препятствовать включению	должны препятствовать включению
Минимального	0,7—0,35	Выше 0,7	0,85* и выше	0,35 и ниже
Нулевого	0,35—0,1	Выше 0,55	0,85* и выше	0,1 и ниже

* При согласовании допускается 0,8.

Таблица 3.59. **Поправочные коэффициенты к номинальным параметрам выключателей ВА50 в зависимости от высоты установки над уровнем моря**

Номинальные параметры	Исполнение по способу установки	Степень защиты	Поправочные коэффициенты при высоте установки над уровнем моря, м				
			1000	2000	свыше 2000	свыше 3000	свыше 4000
Ток, А	Стационарные						
25		IP54	—	1,0	0,96	0,94	0,93
25—160		IP30*		1,0**	0,96**	0,94**	0,93**
250—630		IP20*					
1000			1,0	0,90	0,90	0,90	0,90
1600				1,0	0,80	0,80	0,80
250—630	Выдвижные	IP00	—	1,0**	0,96**	0,94**	0,93**
1000			1,0	0,90	0,90	0,90	0,90
1600			—	1,0	0,80	0,80	0,80
Напряжение, В			1,0	0,95	0,9	0,8	0,68

* Степень защиты зажимов для присоединения внешних проводников IP00. Зажимы выключателей до 160 А имеют степень защиты IP20 при наличии крышки.

** Приведенные поправочные коэффициенты действительны также и для всех аппаратов сильного тока.

Таблица 3.60. **Количество и исполнение свободных контактов автоматических выключателей серии ВА50**

Типы выключателей ВА		Количество свободных контактов (з — замыкающих, р — размыкающих) **								
Серия	№ исполнения номинального тока	при наличии электромагнитного привода				при отсутствии электромагнитного привода				
		1р+1з	1р+2з	3р+3з	3р+4з	2з	2р+2з	2р+1з	4р+3з	4р+4з
ВА51, ВА51Г	25	+*	—	—	—	+	—	—	—	—
ВА51, ВА51Г, ВА52, ВА52Г	31, 33	+	—	—	—	+	—	—	—	—
	33	+	—	—	—	—	+	—	—	—
ВА51, ВА52	35, 37, 39	+	—	—	—	+	+	—	—	—
ВА51, ВА52	39	—	—	+	+	—	—	+	+	+
ВА53, ВА56	37, 39, 41, 43	—	+	—	—	—	+	—	—	—
ВА55	37, 39, 41, 43	+	—	—	—	—	—	+	—	—
ВА56	37	+	—	—	—	—	—	+	—	—
ВА56	39	—	—	+	+	—	—	—	+	+

* Выключатели ВА51 и ВА51Г привода не имеют.

** Выключатели 37 (400 А), 39 (630 А), 41 (1000 А) и 43 (1600 А) имеют сигнальные контакты автоматического отключения выключателя.

Примечание. Знак «+» означает наличие контактов, знак «—» — отсутствие контактов.

Таблица 3.61. **Технические данные автоматических выключателей с комбинированным расцепителем серии ВА52 и ВА52Г**

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Ток отсечки при токе		Предельная коммутационная способность при токе, кА, в цикле О — ВО — ВО					Износостойкость, число циклов ВО	
					переменном, В						
	выключателя $I_{ном}$	расцепителя $I_{ном.р}$	переменном	постоянном	380	cosφ	660	cosφ	постоянном, В	общее	под нагрузкой
ВА52-31, ВА52Г-31	100	16; 20; 25 31,5; 40 50; 63 80; 100	3; 7; 10	3; 7	12 15 18 25	0,3	8; 10	0,5	12 15 18 25	30 000	16000
ВА52-33, ВА52Г-33	160	80; 100 125; 160	10	6	28 35	0,25	12	0,3	28 40	18 000	6300
ВА52-35	250	80	12	10	30				50	16 000	4000
		100; 125		8			14				
		160; 200; 250		6			15				
ВА52-37	400	250; 320; 400	10				18		70	16 000	2000
ВА52-39	630	250; 320; 400; 500; 630			40		20		85		

Примечания: 1. Для выключателей ВА52Г см. табл. 3.62, прим. 1.
2. Выключатели ВА52-31 и ВА52-33 — трехполюсные, а выключатели ВА52-35, ВА-52-37 и ВА53-39 — двух- и трехполюсные.
3. См. табл. 3.62, прим. 3, при этом тепловой расцепитель ВА52-31 до 63 А срабатывает при 1,35 $I_{ном.р}$, у прочих выключателей — при 1,25 $I_{ном.р}$.
4. См. табл. 3.62, прим. 5.

Таблица 3.62. **Технические данные автоматических выключателей с комбинированным расцепителем серии ВА51 и ВА51Г**

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Ток отсечки при токе		Предельная коммутационная способность, кА, при токе и напряжении, В					Износостойкость, число циклов ВО	
	выключателя $I_{ном}$	расцепителя $I_{ном.р}$	переменном	постоянном	переменном				постоянном, 220	общее	под нагрузкой
					380	cosφ	660	cosφ			
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	—	—	3,0	0,7	3,0	0,7	—	100 000	50 000 (30 000)*
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5			1,5		1,5				
ВА51-25		6,3; 8	7; 10	7	2(1,5)		2(1,5)		2		
		10; 12,5			2,5(2)		2		2,5		
		16; 20; 25			3,8(3)				3,6		
ВА51-31-1, ВА51Г-25	100	6,3; 8	3; 7; 10	3; 7	2,0	0,9	—	—	1,5**	50 000	20 000
		10; 12							2,0**		
		16			2,5				2,5**		
		20; 25			3,5	0,8			3,5**		
		31,5; 40; 50; 63; 80			5,0	0,7			8,0**		
		100			7,0	0,5			—		
ВА51-31		6,3; 8,0			2,0	0,9	1,5	0,95	2,0	30 000	16 000
		10; 12,5			2,5		2,0	0,9	2,5		
ВА51Г-31		16			3,8	0,8			3(3,8)		
		20; 25			3,8(5)				3,8(5)		
		31,5; 40			6,0	0,7	4,0	0,8	6,0		
		50; 63							10(12)		
		80; 100			7,0	0,5			20		
ВА51-33, ВА51Г-33	160	80; 100; 125; 160	10	6	12,5	0,3	9	0,5	25	18 000	6300
ВА51-35	250	80	12	10	15		10	0,3			
		100; 125		8							
		160; 200; 250		6							

Продолжение табл. 3.62

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Ток отсечки при токе		Предельная коммутационная способность, кА, при токе и напряжении, В					Износостойкость, число циклов ВО	
	выключателя $I_{ном}$	расцепителя $I_{ном.р}$	переменном	постоянном	переменном				постоянном, 220	общее	под нагрузкой
					380	cosφ	660	cosφ			
ВА51-37	400	250; 320; 400	10	6	25	0,25	12	0,3	40	18 000	6300
ВА51-39	630	400; 500; 630			35		20		50		

* При напряжении 660 В.

** Предельная коммутационная способность указана при 110 В постоянного тока.

Примечания: 1. Выключатели ВА51Г, так же как и ВА52Г (табл. 3.65), предназначены для управления и защиты двигателей с короткозамкнутым ротором в режиме работы АС3 и изготовляются до 660 В, 50 и 60 Гц переменного тока в трехполюсном исполнении.

2. Выключатели ВА51 могут быть трехполюсными и двухполюсными для работы в сетях постоянного тока до 220 В. Выключатели ВА51-31-1 однополюсные предназначены для осветительных сетей до 380 В переменного и 110 В постоянного тока.

3. Выключатели имеют комбинированные расцепители (электромагнитные и тепловые). Электромагнитный расцепитель в зоне короткого замыкания имеет уставку тока отсечки, кратную величине номинального тока расцепителя $I_{ном.р}$ (указана в столбце «Ток отсечки»), при которой выключатель срабатывает практически мгновенно. Кратиость отсечки выключателей ВА51Г (как и ВА52Г) во всех случаях равна 14 $I_{ном.р}$, в зоне перегрузки тепловой расцепитель всех величин этих выключателей срабатывает при 1,2 $I_{ном.р}$. Тепловой расцепнтель выключателей ВА51-25 и ВА51-31-1 до 63 А, ВА51-31 срабатывает при 1,35 $I_{ном.р}$, у прочих выключателей — при 1,25 $I_{ном.р}$.

4. Предельная коммутацнонная способность для выключателей ВА51Г, если ее значение не совпадает со значеннем для ВА51, взята в скобки.

5. При постоянном токе постоянная времени равна 0,01 с.

Таблица 3.63. **Технические данные выключателей серий ВА53, ВА55, ВА75 с полупроводниковымн максимальнымн расцепителями**

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя	Уставка тока полупроводникового расцепителя в зоне КЗ, кратная $I_{ном.р}$ (см. прим. 1)	Верхняя граница зоны селективности (ВА55 и ВА75) *		Износостойкость, число циклов ВО	
			Действующее значение, кА	Время срабатывания, с	общее	под нагрузкой
Трехполюсные переменного тока до 660 В, 50 и 60 Гц						
ВА53-37, ВА55-37, ВА55-39 **	160, 250, 400	2; 3; 5; 7; 10	20	0,1; 0,2; 0,3	6300	1600
ВА53-39 **	160, 250, 400, 630	—	25			
ВА53-41	1000	2; 3; 5; 7	25			
ВА55-41	1600		31			—
ВА53-43, ВА55-43	2500	2; 3; 5	36			
ВА75-45	2500	2; 3; 5; 7	36		5000	1000
ВА75-47	4000	2; 3; 5	45			

Продолжение табл. 3.63

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя	Уставка тока полупроводникового расцепителя в зоне КЗ, кратная $I_{ном.р}$ (см. прим. 1)	Верхняя граница зоны селективности (ВА55 и ВА75) *		Износостойкость, число циклов ВО	
			Действующее значение, кА	Время срабатывания, с	общее	под нагрузкой
Двухполюсные постоянного тока до 440 В						
ВА53-37, ВА55-37	160, 250, 400	2; 4; 6	20	0,1; 0,2	5000	1000
ВА53-39*, ВА55-39 *	160, 250, 400, 630		28			
ВА53-41, ВА55-41	1000		30			
ВА53-43, ВА55-43	1600		57			
ВА75-45	2500	2; 4	50		6300	1000
ВА75-47	2500	2; 4; 6	60			
	4000	2; 4	60		5000	600

* Наибольшее значение токов короткого замыкания, при котором выключатели срабатывают с выдержкой времени.

** Выключатели ВА53-39 выдвижного исполнения имеют номинальные токи 160, 250, 400 и 630 А.

Примечания: 1. Выключатели допускают регулировку номинального тока уставки полупроводникового максимального расцепителя ($I_{ном.р}$) тремя ступенями в пределах от номинального тока выключателя $I_{ном}$ до 0,8 $I_{ном}$ или до 0,63 $I_{ном}$, например выключатель ВА55-37 на 250 А допускает иметь уставки полупроводникового расцепителя ($I_{ном.р}$) 250, 200, 175, 5 А.

2. Все выключатели переменного тока в зоне однофазного КЗ срабатывают при $I_{ном.р}$, равном единице.

3. Уставка расцепителя в зоне перегрузки для всех выключателей 1,25 $I_{ном.р}$. Выключатели позволяют получить уставки по времени срабатывания полупроводниковых расцепителей, равные 4, 8, 16 с, соответственно кратности тока 6 $I_{ном.р}$ при переменном и 5 $I_{ном.р}$ при постоянном токе.

Таблица 3.64. **Технические данные выключателей серии ВА56 без максимальных расцепителей**

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Предельная коммутационная способность при напряжении, В, в цикле О — ВО — ВО*, кА		Стойкость выключателя		Износостойкость, число циклов ВО	
		~380	~660,440	электродинамическая, кА	термическая, $кА^2 \cdot с$	общее	под нагрузкой
Трехполюсные переменного тока до 660 В, 50 и 60 Гц при cosφ 0,25							
ВА56-37	400	32,5	20	40	125	16 000	4000
ВА56-39	630	47,5	28,5	52,5	360		3000
ВА56-41	1000	55	33,5	25	450	10 000	2000
ВА56-43	1600	80	47,5	31	900	6300	1250
Двухполюсные постоянного тока 440 В при постоянной τ = 0,01 с							
ВА56-37	400	—	75	—	—	16 000	4000
ВА56-39	630		100				3000
ВА56-41	1000					10 000	2000
ВА56-43	1600					6300	1250

* Предельная коммутационная способность для ВА56-41 и ВА56-43 на переменном токе дана в цикле О — ВО.

Примечание. Выключатели ВА56 выпускают без максимальных расцепителей, но так как в них применены главные контакты с электродинамическими компенсаторами, такими же как у выключателей ВА55, обладающими термической и электродинамической стойкостью, то при больших значениях тока КЗ они автоматически отключаются несмотря на отсутствие расцепителей.

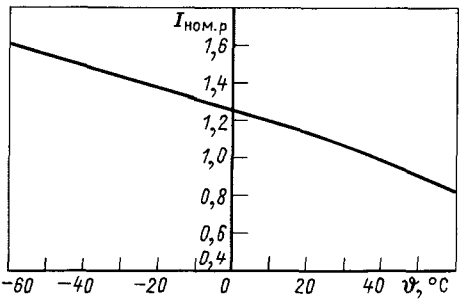


Рис. 3.16. График $I_{ном.р}$ выключателя (расцепителя) серии ВА50

Условия работы свободных контактов в режимах АС11 и ДС11 см. в табл. 3.64. Климатическое исполнение выключателей УХЛ3, Т3.

Выключатели предназначены для работы на высоте до 2000 м над уровнем моря. При бо́льших высотах следует вносить поправки, указанные в табл. 3.59. При температуре, отличной от 40 °С, допускается вносить поправки в соответствии с графиком на рис. 3.16.

3.24. КОНТАКТОРЫ И ПУСКАТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ

Контакторы поворотные серии КТ6000 и КТП6000 следует применять только для управления двигателями ответственных металлургических механизмов в режиме работы АС4, ДС3 с числом включений более 300 в час при переменном токе свыше 40 А и постоянном токе свыше 120 А (табл. 3.65). При токах меньшего значения следует использовать контакторы серии МК1—МК6 (табл. 3.66—3.68).

В дальнейшем контакторы КТ6000 и КТП6000 намечается снять с производства и заменить контакторами новой серии КМ-15.

Серия КМ-15 рассчитана на напряжение до 660 В переменного тока 50 и 60 Гц, на номинальные токи от 160 до 630 А. Контакторы должны допускать в режиме АС4 600—1200 включений в час при ПВ до 40 %. Общий ресурс по износостойкости при исполнении А — 600 000 циклов, Б — 300 000, В — 100 000 циклов. Контакты вспомогательной цепи должны надежно коммутировать ток 50 мА при 24 В.

Таблица 3.65. **Контакторы серий КТ6000А, КТП6000Б, КТ6000АС, КТ6000БС, КТП6000БС**

Тип трехполюсного контактора*	Номинальный ток главной цепи, А, в режиме АС3 при климатических условиях и числе полюсов**						Потребляемая мощность катушек (~) В·А, (—) Вт		Допустимое число включений в час при числе полюсов		
	УХЛ			Т			при удержании	при втягивании			
	2, 3	4	5	2, 3	4	5			2, 3	4	5
С катушками переменного тока 36, 110, 220 и 660 В											
КТ6003А	63	—	—	40	—	—	50	580	1200	600	150
КТ6013Б	100	80	—	80	80	—					
КТ6023А	160	—	—	120	—	—					
КТ6023Б	160	120	—	120	120	—					
КТ6033А	250	—	—	200	—	—	116***/160	1700***/2000			
КТ6033Б	250	160	160	200	160	160					
КТ6043А	400	—	—	320	—	—	320	3500	600	150	150
КТ6043Б	400	250	250	320	280	280					
КТ6053А	630	—	—	500	—	—	370	7600			
КТ6053Б	630	400	400	500	400	400					
КТ6063А	1000	800	—	800	—	—					
С катушками постоянного тока 24, 48, 110, 220 В											
КТП6013	100	80	—	80	80	—	44	55	1200	600	—
КТП6023	160	120	—	120	120	—	44	55			
КТП6033	250	160	—	200	160	—	70	80			
КТП6043	400	250	—	320	280	—	80	100			
КТП6053	630	400	—	500	400	—	100***/125				

Продолжение табл. 3.65

* Контакторы предназначены в основном для тяжелых режимов работы (АС4). Третий знак цифрового обозначения контактора определяет его величину (1, 2 и т. д.). Четвертая цифра указывает на число полюсов главных замыкающих контактов (2, 3, 4, 5). В таблице приведены типы трехполюсных контакторов (цифра 3). Контакторы КТП имеют только 2, 3 и 4 полюса. Контактов вспомогательной цепи может быть 2з и 2р или 3з и 3р на номинальный ток 10 А (см. табл. 3.84). Последний типовой знак (буква) обозначает: А (для контакторов КТ) — главная цепь рассчитана на применение в сети до 660 В. Прочие контакторы предназначены для работы в сети 380 В (работа их в сети 660 В допустима только при согласовании с заводом-изготовителем); Б — контактор модернизированный. Все контакторы поставляются с медными главными контактами, но могут быть изготовлены с металлокерамическими контактами на основе серебра. В этом случае в обозначении типа контактора после буквы А или Б ставят букву С, например КТ6043АС.

** Номинальный ток контактора $I_{ном}$ в режиме АС3 является одновременно и номинальным рабочим током $I_{ном.р}$. При работе контакторов в режиме АС4 номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$ должен быть снижен для первой величины до 40 % $I_{ном}$, а для прочих величин — до 30 % $I_{ном}$.

*** Для КТ6030 и КТП6050 потребляемая катушками мощность указана дробью: в числителе — для двухполюсных, в знаменателе — для большего числа полюсов.

Таблица 3.66. **Контакторы электромагнитные серии МК**

Тип контактора	Величина	Главные контакты: Номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$, А, при токе, напряжении и в режимах						Допустимое число включений в час
		постоянном $U_{ном}$, В		переменном $U_{ном}$, В				
		220		380		500		
		ДС2	ДС3	АС3	АС4	АС3	АС4	
МК1-10	1	40	16	—	—	—	—	1200
МК1-20		40*	16	40	16	25	10	
МК1-21				—	—	—	—	
МК1-22				40	16			
МК1-30		—	—			25	10	
МК2-10	2	63	25	—	—	—	—	
МК2-20*				63	25	40	16	
МК2-20Е		—	—	63	40	—	—	
МК2-30				63	25			
МК2-30Е				63	40			
МК2-30Ж				—	—	63	40	
МК3-20	3	100*	40			—	—	
МК3-20Е, 30Е		—	—	100	40			
МК3-10		100	40	—	—			
МК4-10	4	160	48					600
МК5-10	5	250	75					
МК5-10**								
МК6-10**	6	400	120					
МК6-20***								

* Выпускают на 440 В постоянного тока, при этом для МК2-20 номинальный ток 40 А.

** Имеют реверсивное исполнение. В этом случае после цифр стоит буква Р (МК6-10Р).

*** Выпускают только на 440 В. Контакторы с буквой Е имеют бездуговую коммутацию, с буквой Ж допускают работу при напряжении 660 В.

Продолжение табл. 3.66

Примечания: 1. Второй и третий знаки цифрового обозначения определяют число главных контактов; вторая цифра — замыкающих «з», третья — размыкающих «р». Например, МК1-21 имеет 2з и 1р. Все контакторы имеют по 2з и 2р контакта вспомогательной цепи, номинальные рабочие токи которых приведены в табл. 3.87.

2. Напряжение втягивающих катушек — до 220 В постоянного тока, потребляемая мощность 1—4-й величин 40 Вт, 5, 6-й — 70 Вт.

3. Степень защиты контакторов IP00. При установке в оболочке характеристики не снижаются, если температура не выше 55 °С.

Таблица 3.67. **Контакторы с защелкой серии КТ6000/2 и КТ6000/3**

Тип контактора	Главные контакты				Контакты вспомогательной цепи	
	Номинальный ток, А		Число контактов			
	з	р	з	р	з	р
Постоянный ток 220 В						
КТ6021/3 КТ6031/3 КТ6041/3	160 250 400	40 100 160	1	1	2 или 3	2 или 3
КТ6051/3	630	160			3	3
КТ6022/3 КТ6032/3 КТ6042/3	160 250 400	40 100 160	2	1	2 или 3	2 или 3
КТ6052/3	630	160			3	3
Переменный ток 380 В, 50 и 60 Гц						
КТ6022/2 КТ6032/2 КТ6042/2	160 250 400	—	2	—	2 или 3	2 или 3
КТ6052/2 КТ6062/2	630 1000				3	3
КТ6023/2 КТ6033/2 КТ6043/2	160 250 400		3		2 или 3	2 или 3
КТ6053/2 КТ6063/2	630 1000				3	3

Примечания: 1. Контакторы поставляются с катушками на напряжение от 110 до 500 В, 50 и 60 Гц переменного тока и 48, 110, 220 В постоянного тока.

2. Степень защиты IP00, климатическое исполнение УХЛ3, Т3.

3. Контакторы предназначены для работы в цепях, где недопустимо отключение при временном или длительном отсутствии напряжения в цепи катушек. Главные контакты КТ6000/3 перекрываются между собой при коммутации.

Таблица 3.68. **Контакторы для цепей управления серий КТ6000, КТП6000, МК1**

Тип контактора		Число контактов		Допустимое число включений в час
без защелки	с защелкой*[1]	з	р	
Катушки переменного тока 110, 127, 220, 380, 500 В, 50 и 60 Гц				
КТ6000/01	—	3	3	600
КТ6000/02	—	6	6	
КТ6000/03	—	9	9	
КТ6000/04	—	12	12	
—	КТ6000/21	1*[2]	3	60*[3]
—	КТ6000/22	4	6	
—	КТ6000/23	7	9	
—	КТ6000/24	10	12	

Продолжение табл. 3.68

Тип контактора		Число контактов		Допустимое число включений в час
без защелки	с защелкой*[1]	з	р	
Катушки постоянного тока 24*[4], 48, 110, 220 В				
КТП6000/01	—	3	3	660
КТП6000/02	—	6	6	
КТП6000/03	—	9	9	
КТП6000/04	—	12	12	
—	МК1-44	4	4	1200 при ПВ 40 %
—	МК1-55	5	5	
—	МК1-66	6	6	
—	МК1-84	8	4	

*[1] По заказу могут быть изготовлены с катушками постоянного тока, как КТП.

*[2] Два контакта в серии заняты в схеме защелки.

*[3] Допускают 10 включений и отключений подряд с интервалами 2 с.

*[4] Только МК1.

Примечания: 1. Номинальный ток контактов ($I_{ном}$) 16 А для КТ, КТП и 10 А для МК1 (рабочий ток $I_{ном.р}$ см. в табл. 3.84).

2. Контакторы предназначены для работы в сети переменного тока до 500 В (МК1 до 660 В), 50 и 60 Гц и постоянного тока 220 В.

3. Время втягивания 0,08 с, отпадания — 0,06 с.

Электропромышленностью осваивается производство также вакуумных контакторов серии КМ-13.

Контакторы рассчитаны для работы в сетях переменного тока до 660 В, 50 и 60 Гц при номинальных токах 250 А (КМ-13-35), 400 А (КМ-13-37), 630 А (КМ-13-39).

Номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$ и коммутационная износостойкость следующие:

Тип контактора	$I_{ном.р}$, АС-3	А, в режиме АС-4	Коммутационная износостойкость, млн. циклов ВО, в режиме АС-3	АС-4
КМ-13-35	250	75	2,2	1,2
КМ-13-37	400	1200	1,5	0,8
КМ-13-39	630	189	1,5	0,8

Коммутационную износостойкость контактов вспомогательной цепи см. в табл. 3.84.

В настоящее время для неответственных механизмов с числом включений более 300 в час следует применять пускатели магнитные серий ПМЛ и ПМА, допускающие работу при 600—1200 включений в час.

Для двигателей ответственных механизмов в режиме АС4, но при числе включений менее 300 в час рекомендуется применять пускатели серий ПМЛ и ПМА.

Когда требуются контакторы для цепей управления без защелки, следует применять контакторы серии МК1-44, МК1-55, МК1-66 и МК1-84, допускающие до 1200 включений в час.

Для двигателей с номинальным током до 40 А включительно следует применять пускатели серии ПМЛ, для двигателей на 63 А и более — пускатели серии ПМА (табл. 3.69, 3.70, 3.71).

Общий ресурс коммутационной износостойкости магнитных пускателей в зависимости от их величины и исполнения, млн. циклов ВО, следующий:

Величина ПМЛ	Режим АС3 Исполнение: А	Б	В
1—6	3	1,5	0,3
2—4,7	2	1,0	0,3
5	4	1,0	0,3
Величина ПМА			
3—5	2,5	1,0	0,3
6	2	0,75	0,3
Величина ПМЛ	Режим АС4* Исполнение:		
	А	Б	В
1—3	0,4	0,2	0,1
4—7	0,32	0,16	0,08
Величина ПМА			
3—4	0,35	0,16	0,08
5	0,25	0,125	0,06
6	0,2	0,1	0,05

* В исполнениях Б и В поставляются в оболочках.

Таблица 3.69. **Пускатели магнитные трехфазного тока серии ПМА на напряжение до 660 В**

Степень защиты IP00		Величина	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Номинальный рабочий ток главной цепи $I_{ном.р}$, А, при напряжении, В, и в зависимости от степени защиты						Мощность катушки пускателя и время срабатывания, мс, при токе				
				в режиме АС3		в режиме АС4				постоянном		переменном		
				до 500		660	380	500	660	Мощность включения и удержания, Вт	Время	Мощность, В·А		Время
Нереверсивный	Реверсивный			IP00	IP40, IP54	IP00, IP40, IP54	IP00, IP40, IP54	IP00, IP40, IP54	IP00, IP40, IP54			включения	удержания	
ПМА3100004 ПМА3200004	ПМА3300004 ПМА3400004	3	40	40	36	25	16	10	10	— —	— —	200 280	20	25
ПМА4100004 ПМА4200004	ПМА4300004 ПМА4400004	4	63	63	60	40	25	16	16	—	—	280	40	20
ПМА5100004 ПМА5200004	ПМА5300004 ПМА5400004	5	100	100	95	63	40	25	25	40	60	350	45	20
ПМА6100004 ПМА6200004	ПМА6300004 ПМА6400004	6	160	160	150	100	48	48	40	70	75	530	60	25
ПМА3700004	ПМА3800004	3—6	С позисторной защитой АЗП. Даиные те же, что и для соответствующих величин пускателей											
ПМА3900004	ПМА3000004	3—6	То же, но УВТЗ-1М											

Примечания: 1. Пускатели ПМА предназначены преимущественно для дистанционного управления и защиты асинхронных трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 75 кВт в стационарных установках напряжением до 660 В при частоте до 100 Гц. Пускатели изготовляют для тепловозов с электромагнитом постоянного тока, однако допускается применение их в стационарных общепромышленных установках.

2. Номинальный рабочий ток пускателей ($I_{ном.р}$) определяется максимальной установкой теплового элемента реле, установленного в пускателе; например при среднем значении тока теплового элемента 32 А (см. табл. 3.71) номинальный рабочий ток пускателя ПМА3200004 будет равен 36,8 А.

3. Первая цифра обозначения пускателей указывает на его величину (от 3 до 6), на втором месте ставится цифра (от 0 до 9), определяющая наличие реверса, теплового реле или позисторной защиты, третья цифра определяет степень защиты, наличие или отсутствие кнопок и светосигнальных арматур (при отсутствии кнопок ставятся цифры 0, 1 или 2, а при наличии — 3 или 4; при налични арматур — цифры 5 или 6). На четвертом месте при сейсмостойком исполнении (только при износостойкости А) ставится буква С.

4. Число контактов вспомогательной цепи в зависимости от величины пускателя может быть 1з и 0р, или 2з и 2р, или 4з и 2р, или 2з и 0р.

5. Пускатели имеют общеклиматическое исполнение 0 (шестое место обозначения). Категория размещения в зависимости от степени защиты устанавливается последней цифрой. В данной таблице на этом месте стоит цифра 4, соответствующая пускателям со степенью защиты IP00, при IP40 должна стоять цифра 3, а при IP54 — 2. Для пускателей с электромагнитом постоянного тока стоит цифра 3 при степени защиты IP00.

6. Высота над уровнем моря 2000 м (для исполнения С — до 2400 м). Пускатели на 380 В — до 4300 м при нагрузке, сниженной на 10 %.

Таблица 3.70. **Пускатели магнитные трехфазного тока серии ПМЛ на напряжение до 660 В**

Степень защиты			Величина	Номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$ главной цепи, А				Род тока						Число и исполнение контактов вспомогательной цепи	
				Продолжительный прерывисто-продолжительный режим АС3 при напряжении сети, В, и степени защиты			Тяжелый режим АС4 при напряжении сети, В, и степени защиты	Постоянный		Переменный					
								Мощность включения и удержания, Вт	Время	Мощность, В·А		Время, мс			
				до 500		660	до 500	660						з	р
IP00	IP54			IP00	IP54	IP00, IP54	IP00	IP54			включения	удержания			
ПМЛ110004		ПМЛ121002	1	10*	10*	6	4**	2,4	15	—	68±8	8±1,8	17±7	1	1
ПМЛ210004		ПМЛ221002	2	25	22	16	10	6,4	20	—	87±13	7,6±1,4	22±5	1	—
ПМЛ310004		ПМЛ321002	3	40	36	25	16	10	—	—	200±35	20±4	22±6	1	1
ПМЛ410004		ПМЛ421002	4	63	60	40	25,2	16	—	—	200±35	20±4	22±6	1	1
ПМЛ510004		ПМЛ521002	5	80	80	50	32	20	—	—	380±30	38±7	63±22	1	1
ПМЛ610004		ПМЛ621002	6	125	100	60	37,5	28	—	—	500±40	46±8	55±30	2	2
ПМЛ710004		ПМЛ721002	7	200	160	120	60	36	—	—	800±65	56±9	42±13	3	3
														3	1
														5	1

* Номинальный рабочий ток при 500 В равен 6 А.
** Номинальный рабочий ток при 500 В равен 2,4 А.

Таблица 3.71. **Данные тепловых реле, встраиваемых в пускатели серии ПМЛ и ПМА (режим АС3)**

Номинальный ток пускателя, А	Тепловое реле			
	Тип	Номинальный ток, А	Ток теплового элемента, А	
			Среднее значение	Пределы регулирования тока несрабатывания
Реле РТЛ для пускателей серии ПМЛ				
10	100104	25	0,14	0,1—0,17
	100204		0,21	0,16—0,26
	100304		0,32	0,24—0,4
	100404		0,52	0,38—0,65
	100504		0,8	0,61—1,0
	100604		1,3	0,95—1,6
	100704		2,0	1,5—2,6
	100804		3,2	2,4—4,0
	101004		5,0	3,8—6
	101204		6,8	5,5—8
	101404		8,5	7,0—10
25	101404		8,5	7,0—10
	101604		12	9,5—14
	102104		16	13—18
	102204		21,5	18—25
40	205304	80	27,5	23—32
	205504		35,5	30—41
63	205504		35,5	30—41
	205704		45	38—52
	205904		55,5	47—64
	206104		64	54—74
80	206104		64	54—74
	206304		74,5	63—86
125	310504	200	90	75—105
	312504		107,5	90—125
200	312504		107,5	90—125
	316004		137,5	115—160
	320004		172,5	145—200
Реле РТТ для пускателей серии ПМА				
40	2	40	12,5*	10,6—14,3
			16*	13,6—18,4
			20*	17—23
			25	21,2—28,6
			32*	27,2—36,8
			40	34—46
63		63	32	27,2—36,8
			40	34—46
			50*	42,5—57,5
			63	53,5—72,5

Продолжение табл. 3.71

Номинальный ток пускателя, А	Тепловое реле			
	Тип	Номинальный ток, А	Ток теплового элемента, А	
			Среднее значение	Пределы регулирования тока несрабатывания
100	3	100	50	42,5—57,5
			63	53,5—72,3
			80	68—92
			100	85—115
160		160	80*	68—92
			100	85—115
			125	106—143
			160	136—160

* Пускатели ПМА выпускаются только на 660 В.

Примечания: 1. Номинальные токи тепловых реле указаны для нулевого положения регулятора и отнесены к температуре воздуха 20 °С при атмосферном давлении 1 кПв.

2. Максимальные токи несрабатывания ПМА даны для исполнения IP00. При оболочках IP40, IP54 уставки аналогичны, кроме уставок среднего значения 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 А, для которых ток должен быть ниже на 4—8 %.

3. Время срабатывания реле РТЛ при нагреве с холодного состояния при температуре воздуха 20 °С и любом положении уставки несрабатывания 4,5—12 с.

3.25. РЕЛЕ

Реле промежуточные предназначены для оперирования в цепях автоматического управления электроприводами в качестве многоконтактных аппаратов и являются комплектующими изделиями. Реле — электромеханические. В настоящее время начинают широко применяться реле с магнитоуправляемыми контактами — герконами. Герконовые реле серий РПГ8, РПГ9 и др. используются также в качестве промежуточных в схемах автоматизации и управления электроприводами.

Герконовые реле позволяют строить любые логические схемы, имеющие преимущества перед схемами на полупроводниковых приборах, так как обладают более высокой выходной мощностью, отсутствием гальванической связи между нагрузками и цепями управления. Реле на герконах обладают высоким быстродействием, способны работать в пыльной среде и имеют большой срок службы.

Сравнительно высокая выходная коммутируемая мощность реле на герконах (до 250 Вт) позволяет с их помощью управлять сильноточными электромеханическими реле, а также контакторами серии МК.

Основные технические данные промежуточных реле приведены в табл. 3.72.

При выборе реле, применяемых в цепях управления контакторами, следует учитывать коммутационные возможности их контактов, приведенные в табл. 3.84.

Таблица 3.72. **Основные техни**

Тип реле	Данные катушки при токе				Время действия, мс	
	постоянном		переменном			
	В	Вт	В	В·А	срабатывания	отпускания
РПУ-2	До 220	4	До 400	9	50(36)*[1]	20
РПУ-3	До 220	30(40)*[2]	—	—	—	—
РП20	До 220	1,5—4	До 440	4—7	—	—
РП21	До 110	2,5*[3]	До 380	3,5*[3]	—	—
ПЭ-37	До 220	4	До 440	7	—	—
РПЛ	До 220	14	До 660	9	—	—
ПЭ-36	До 220	4	До 440	7	—	—
РПГ8	До 110*[4]	1,6—5,5	—	—	5,5—10	1,5—2
РПГ9	До 110	0,75—6,3	—	—	6—8	1,5(6)*[6]
РПГ10	До 110	3,5—6	—	—	7—12	1,5—2,5
РПГ14	До 110	6	До 220	7	8—12(20)*[1]	4(30)*[6]
РПГ13	До 110	2,5—5,5	—	—	10	5

*[1] В скобках указано время срабатывания реле при катушке постоянного тока.

*[2] В скобках указана потребляемая мощность реле РПУ-3-116 с четырьмя з и двумя р контактами.

*[3] Мощный и номинальный ток указаны для реле с четырьмя контактами.

*[4] Допускается питание катушек реле РПГ выпрямленным постоянным током с частотой пульсации не менее 300 Гц без фильтра или с фильтром, обеспечивающим пульсацию не более 6 %.

*[5] Номинальный ток переключающих контактов 2,5 А.

*[6] В скобках указано время отпускания реле с размыкающими контактами.

Таблица 3.73. **Командоаппараты кулачковые регулируемые серии КА4000**

Тип	Число коммутационных элементов	Передаточное число редуктора	Число барабанов	Вращение барабанов	Степень защиты	Климатическое исполнение
КА4044 КА4054	4 6	—	1	Реверсивное	IP30	У, Т2
КА4048-1 КА4058-1	4 6	1:30 1:5				У2
КА4148-3	8	—	2	Последовательное*		У, Т2
КА4168-3	16	1:1; 1:16,65	4			
КА4188-3	24	—	6			
КА4269	16	Электропривод 1:248	4	Параллельное		
КА4289	24		6			
КА4658-1 КА4658-3 КА4658-5 КА4658-6	5	1:1 1:15 1:30 1:30	1	Реверсивное	IP55	УХЛ, Т2,5

* При параллельном вращении барабанов вместо цифры (через тире) 3 должна быть поставлена цифра 4.

Примечания: 1. Аппараты применяются как путевые или конечные и рассчитаны для работы в цепях управления до 500 В, 50 и 60 Гц переменного и до 440 В постоянного тока. Номинальный ток аппаратов $I_{ном}$ 16 А. Номинальный рабочий ток $I_{ном.р}$ см. в табл. 3.84.

2. КА4658 имеет исполнение с двухстороннim выводом вала. В этом случае вместо последних цифр 1, 3, 5, 6 должны быть поставлены цифры соответственно 21, 23, 25, 26. Прочие типы имеют односторонний вывод вала.

3. Высота установки — до 2000 м над уровнем моря.

ческие данные реле промежуточных

Данные контактов			Климатическое исполнение и категория	Степень защиты IP	
Напряжение, В		Номинальный ток, А		корпуса	контактов
постоянное	переменное				
12—220	12—440	6	У, Т3, ХЛ4	00	00
				40	00
110—220	24—660	10	У, Т3, ХЛ4	00	00
12—220	12—440	6	У, Т3, ХЛ4	30	00
6—110	12—380	5*[3]	У3, Т4, ХЛ4	40	00
12—220	12—440	6	У, Т3, ХЛ4	20	00
24—220	24—660	16	04	00	00
24—220	12—440	6	У, Т3, ХЛ4	20	00
6—220	6—380	4*[5]	У3, 04	20	00
6—220	6—380	4*[5]	У3, Т4, ХЛ4	20	00
6—220	6—380	4*[5]	У3, 04	41	00
6—220	6—380	4*[5]	У3, 04	41	00
6—220	6—380	4*[5]	У3, 04	20	00

Таблица 3.74. **Выключатели бесконтактные путевые серии ВПФ11-01**

Цифровое обозначение типа выключателя	Число коммутируемых цепей	Один модуль коммутируемых элементов		Два модуля коммутируемых элементов	
		с редуктором	без редуктора	с редуктором	без редуктора
062100	6	—	+	—	—
062400		—	+	—	—
062110		+	—	—	—
062410		+	—	—	—
122100	12	—	+	—	—
122400		—	+	—	—
122110		+	—	—	—
122410		+	—	—	—
182140	18	—	—	—	+
182440		—	—	—	+
182150		—	—	+	—
182450		—	—	+	—
242140	24	—	—	—	+
242440		—	—	—	+
242150		—	—	+	—
242450		—	—	+	—

Примечания: 1. Выключатели являются путевыми и предназначены для замены аппаратов КА400, снимаемых с производства. В дальнейшем предполагается ими заменить и КА4000.

2. Выключатели рассчитаны на напряжение 24 В с номинальным током 100 мА и работают с промежуточными геркоиовыми реле. Выходные сигналы выдаются в прямом и инверсном виде.

3. Степень защиты IP54, климатическое исполнение У2, Т2. Высота установки — 2000 м над уровнем моря.

4. Знак «+» — модули имеются, знак «—» — модули отсутствуют.

3.26. КОМАНДОАППАРАТЫ

Командоаппараты применяются как путевые или конечные выключатели. Технические данные выпускаемых в настоящее время командоаппаратов указаны в табл. 3.73 и 3.74. Предполагается аппараты КА4000 заменить более совершенными изделиями.

3.27. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ПАКЕТНЫЕ, КНОПОЧНЫЕ, ПОСТЫ УПРАВЛЕНИЯ КНОПОЧНЫЕ, УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Технические данные пакетных выключателей и переключателей серий ПВ, ПП и ПКП приведены в необходимом объеме в табл. 3.75 и 3.76.

Кнопочные выключатели серии КЕ, КМЕ и переключатели серии ПЕ предназначены для оперирования вторичными цепями контакторов, магнитных пускателей, автоматических выключателей и тому подобными аппаратами, осуществляющими непосредственное воздействие на электроприемник. Основные технические данные кнопочных выключателей и переключателей сведены в табл. 3.77. Управляющий элемент аппарата (толкатель) может быть цилиндрическим или грибовидным. При цилиндрическом толкателе выключатель может иметь светосигнальную арматуру. Переключатели поставляются с рычагом на несколько положений с фиксацией в каждом положении или без нее. Толкатель окрашивается по заказу в любой цвет (белый, зеленый, красный и т. п.).

Перечисленные аппараты со стороны контактов исполняют со степенью IP00, они могут применяться только встроенными в шкафы, пульты, а также комплектоваться с постами управления ПКЕ и ПКУ15 (табл. 3.78 и 3.79). Количество встраиваемых в посты кнопочных аппаратов и светосигнальных арматур может быть от единицы до десяти. Климатические условия постов определяются данными встраиваемых аппаратов.

Аппараты имеют электрически не связанные замыкающие (з) и размыкающие (р) контакты с двойным разрывом. Номинальное напряжение — до 500 В, 50 и 60 Гц переменного и до 220 В постоянного тока. Номинальный ток контактов $I_{ном}$ 10 А ($I_{ном.р}$ см. в табл. 3.87). Минимальное напряжение $U_{ном.р}$ — 12 В, минимальный ток $I_{ном.р}$ — 0,05 А.

Для выключателей и переключателей количество и сочетание контактов указывается при заказе. Для этого в типовом обозначении на третьем месте знака (в таблице на этом месте условно поставлен нуль) должны быть цифры 1 или 2. Если в таблице на этом месте стоит цифра 1, это значит, что сочетания с цифрой 2 в данном исполнении нет. При цифре 1 кнопка поставляется с любым следующим сочетанием контактов: 2з, или 1з+1р, или 1з, при цифре 2: 4з, или 3з+1р, или 2з+2р.

В типовом обозначении кнопок КМЕ на третьем месте — число замыкающих контактов, а на четвертом — число размыкающих. Кнопки могут заказываться в любом сочетании, но в сумме не более четырех. Сочетания 4з или 4р в КМЕ отсутствуют.

Степень защиты контактных элементов всех аппаратов IP00, кроме ПЕ190, поэтому окончательная степень защиты определяется степенью защиты шкафа (кожуха), в который будет встроен аппарат. Исполнение толкателя (привода), как указано в таблице, позволяет

Таблица 3.75. **Выключатели и переключатели пакетные серий ПВ и ПП**

Тип		Величина	Номинальный ток, А, при напряжении $U_{ном}$, В, постоянного и переменного тока 50, 60, 400 Гц			Коммутационная износостойкость ВО, млн. циклов, при	
Выключатели	Переключатели		до 240	до 415	до 440	$\cos\varphi=0,8$, $\tau=2,5$мс	$\cos\varphi=0,3$, $\tau=10$ мс
ПВ1-10	ПП1-10	1	10	6	5	0,010*[1]	0,005*[2]
ПВ2-25	ПП1-25	3	25	16	14		
ПВ2-60	ПП1-60	5	63	40	36		
ПВ2-100	ПП2-100	6	100	63	56	0,005*[3]	0,0025*[4]
ПВ2-250	ПП2-250	8	250	160	145	0,005	0,0025
ПВ2-400	ПП2-400	9	400	250	225		

*[1] Модернизированные до 0,015.
*[2] Модернизированные до 0,0075.
*[3] Модернизированные до 0,01.
*[4] Модернизированные до 0,005.

Примечания: 1. В типе первая цифра — число коммутируемых цепей (полюсов) 1, 2, 3, 4. При цифре 2 данный тип с одним полюсом не изготавливается. Величины 5, 6, 8, 9-я не имеют четырех полюсов. Пятая и шестая цифры указывают число направлений коммутации электрических цепей по направлениям Н2, Н3, Н4. Переключатели всех величин имеют по два направления (Н2), 1-я и 3-я величины имеют до трех (Н2 и Н3), 5-я — до четырех (Н2, Н3, Н4) направлений. Кроме того, все аппараты могут иметь специальные электросхемы.

Пример полного обозначения: ПП3-100/Н2 — переключатель трехполюсный на 100 А, на два направления при коммутации.

2. Допустимый режим работы продолжительный, прерывисто-продолжительный, повторно-кратковременный до 300 включений в час, ПВ=60 % (категория применения АС3, ДС2, АС21, ДС21).

3. По способу установки и крепления аппараты имеют четыре исполнения: I, II и III исполнения — для крепления передней или задней скобой, степень защиты IP00, при IV исполнении аппараты всех величин крепятся за корпус и имеют степень защиты IP56 и IP67. Выключатели ПВ 1-й и 3-й величин имеют при этом дополнительно степень защиты IP30. Аппараты поставляют в климатических исполнениях УХЛ, Т, ОМ всех категорий размещения. Температура среды — в соответствии со стандартом.

4. Высота установки — до 2000 м над уровнем моря.

Таблица 3.76. **Переключатели кулачковые пакетные серии ПКП переменного тока до 440 В, 50, 60, 400 Гц**

Тип и номинальный ток, А	Исполнение по виду крепления				Износостойкость коммутационная, млн. циклов в режимах	
	за панелью скобой или фланцем	внутри шкафов на панели	на стенах и конструкциях за оболочку			
	при степени защиты				АС21, $\cos\varphi=0,95$	АС3, $\cos\varphi=0,35$
	IP00		IP54	IP30		
ПКП-25	2, 6*, 20, 29, 24*	11, 15*	34, 39, 44	50	0,4	0,2
ПКП-40	2, 20, 11	11	—	—	0,1	—
ПКП-63	3, 7*, 21, 30, 25*	12, 16*	35, 40, 45	52		0,2
ПКП-100	4, 8*, 22, 31, 26*	13, 17*	—	—		—
ПКП-160	5, 14	—				

* Данное исполнение имеет контакт вспомогательной цепи.

Примечания: 1. Фронтальный фланец исполнений ПКП-25-29 и ПКП-63-30 при установке на монтажной панели позволяет получить для всего устройства степень защиты IP54 и климатическое исполнение УХЛ2, Т3.

2. Все исполнения переключателей со степенью IP54 и категорин У2 с буквой Х допускают их применение в химических производствах и в сельском хозяйстве.

3. В оболочке и шкафу комплектного устройства со степенью защиты IP54 допускается температура до 60 °С при рабочем токе $I_{ном\,р}$ не более 0,8 $I_{ном}$.

4. Высота установкн над уровнем моря — до 2000 м.

Таблица 3.77. **Выключатели кнопочные серий КЕ и КМЕ, переключатели управления серии ПЕ**

Типовое обозначение	Условные обозначения*	Степень защиты со стороны привода
Толкатель цилиндрический		
КЕ010	СВ	IP40
КЕ150	З, СВ	
КЕ071 КЕ160 КЕ170	ЛТ З, СФ Л	
КЕ030 КЕ040 КЕ080 КЕ180	СВ	IP54
КМЕ4100		IP40
КМЕ4200 КМЕ4500		IP54
КМЕ6500	СФ	
КМЕ6100		IP40
Толкатель грибовидный		
КЕ020	СВ	
КЕ131	СФ	
КЕ141		IP54
КЕ150	З, СВ	IP40
КЕ190 КЕ201 КЕ211	СВ СФ	IP54
КМЕ5100	СВ	IP40
КМЕ5500		IP54

Продолжение табл. 3.77

Типовое обозначение	Условные обозначения*	Степень защиты со стороны привода
КМЕ5100	СВ	IP54
ПЕ010	Р.2	IP40
ПЕ020		
ПЕ030 ПЕ040	Р.3 З.2	
ПЕ050	З.3	IP54
ПЕ060 ПЕ070 ПЕ080	Р.2 Р.3	
ПЕ091 ПЕ101 ПЕ111	Рч.3, СВ	
ПЕ121	Рч.2, СВ	
ПЕ131 ПЕ141 ПЕ150 ПЕ160	Рч.3, СФ Рч.2, СФ Р.2, СВ Р.3, СВ	
ПЕ170 ПЕ180 ПЕ190 ПЕ200 ПЕ210 ПЕ220	З.2, СФ З.3, СФ З.2, СФ З.3, СФ З.2, СФ	IP40

* В таблице приняты следующие условные обозначения: З — с замком; З.2 и З.3 — на два или три положения с замком; Л — с сигнальной лампой; ЛТ — с сигнальной лампой с трансформатором на 110—127 или 220—240 В; СВ — с самовозвратом; СФ — с фиксацией; Р.2 и Р.3 — рукоятка на два или три положения; Рч.2 и Рч.3 — рычаг на два или три положения.

Таблица 3.78. **Посты управления кнопочные серии ПКЕ**

Тип поста управления	Число кнопок	Степень защиты со стороны		Тип поста управления	Число кнопок	Степень защиты поста
		толкателя	контактов			
ПКЕ112-1 ПКЕ112-2 ПКЕ112-3 ПКЕ612-2	1 2 3 2	IP40	IP00	ПКЕ212-1 ПКЕ212-2 ПКЕ212-3 ПКЕ712-2	1 2 3 2	IP40
ПКЕ122-1 ПКЕ122-2 ПКЕ122-3 ПКЕ622-2	1 2 3 2	IP54	IP00	ПКЕ222-1 ПКЕ222-2 ПКЕ222-3 ПКЕ722-2	1 2 3 2	IP54

Примечания: 1. Посты предназначены для работы в цепях управления до 500 В, 50 и 60 Гц переменного и до 220 В постоянного тока.

2. На постах устанавливают кнопочные выключатели КЕ011, КЕ021 и переключатели ПЕ011, ПЕ021, ПЕ031 и ПЕ041 с любым сочетанием замыкающих и размыкающих контактов и любым цветом толкателей. Допустимые токи контактов см. в табл. 3.80, прим. 1.

3. Первая цифра — способ монтажа: первая и шестая — в нише, вторая и седьмая — на ровной поверхности. Степень защиты постов ПКЕ100 и ПКЕ600 зависит от степени ниши. Подробнее по этому вопросу см. табл. 3.80.

Там же в зависимости от степени защиты приведена климатическая характеристика.

4. Высота установки 2000 м над уровнем моря.

Таблица 3.79. **Посты управления кнопочные серии ПКУ15**

Тип поста	Количество встраиваемых аппаратов в рядах	
	вертикальных	горизонтальных
ПКУ15-21111	1	1
ПКУ15-21121	1	2
ПКУ15-211131	1	3
ПКУ15-21141	1	4
ПКУ15-21231	2	3
ПКУ15-21331	3	3
ПКУ15-21163	6	3
ПКУ15-21253	2	5
ПКУ15-21283	2	8
ПКУ15-21122	1	2
ПКУ15-21341	3	4
ПКУ15-21441	4	4

Примечания: 1. Посты предназначены для работы в цепях управления до 500 В, 50 и 60 Гц переменного и до 220 В постоянного тока; $I_{ном}$ — 10 А, ($I_{ном\,р}$) см. в табл. 3.84.

2. На постах могут устанавливаться кнопки и переключатели типов: КЕ и ПЕ-010, 020, 080, 170; КЕ-131, 141, 191; ПЕ-031, 061, 071, 181, 201; кнопки: КМЕ-4111, 5111, 6111 (см. табл. 3.80); арматура светосигнальная — АЕ120000, АЕ320000 (см. табл. 3.83).

3. Способ установки (последняя цифра обозначения 1, 2, 3): 1 — *установка на плоскости*; 2 — подвеска с приводом; 3 — подвеска на тросе.

4. Степень защиты и климатическое исполнение: IP40 — УХЛ3, Т3; IP54 — УХЛ2, Т2.

5. Высота над уровнем моря — до 4300 м.

обеспечить степень защиты до IP40, при этом климатическая категория будет УХЛ3, Т3, либо до IP54, при этом категория будет УХЛ2, Т2.

Переключатель ПЕ190Х имеет химически стойкое исполиение и допускает установку в цехах без дополнительного кожуха. Его степень защиты IP40 и категории размещения УХЛ2, Т2. Выключатели КЕ160 виброударостойкие.

Высота установки над уровнем моря 2000 м.

Универсальные переключатели серии УП5000 и кулачковые универсальные переключатели ПКУ3 предназначены для применения в схемах управления и автоматики и для ручного переключения цепей.

Технические данные приведены в табл. 3.80—3.82.

Переключатели УП имеют на каждой секции по два контакта, которые в схеме дают один разрыв цепи. Кроме того, второй контакт секции имеет общий зажим, позволяющий получить два разрыва, а также в схемах с общей точкой обеспечивает коммутацию двух разных цепей. Двойной разрыв позволяет значительно увеличить коммутациоиную способность аппарата (см. табл. 3.84).

Переключатели ПКУ3 имеют на каждой секции по два коитакта мостикового типа, дающих два разрыва, и по два зажима для отходящих проводников. Контакты у всех переключателей замыкаются и размыкаются при

Таблица 3.80. **Переключатели универсальные серий УП5300 и УП5400**

Тип	Количество секций	Форма рукоятки при способе фиксации (по табл. 3.85)			Степень защиты и климатическое исполнение	
		А, Б, В	Г, Е, Ж, И, К, Л, М, С, Ф, У, Х	Н	УП5300	УП5400
УП5311, УП5402	2	Револьверная	Овальная	Овальная	IP00, УХЛ3, Т3	IP55, УХЛ2, Т2
УП5312, УП5404	4					
УП5313, УП5406	6					
УП5314, УП5408	8		Револьверная			
УП5315, УП5410	10					
УП5316, УП5412	12					
УП5317, УП5416	16					
УП5410-2	20(10×2)					
УП5412-2	24(12×2)					

Примечания: 1. Переключатели изготовляют на напряжение до 500 В, 50 и 60 Гц переменного и до 440 В постоянного тока; $I_{ном}$=16 А ($I_{ном\,р}$ см. в табл. 3.84).

При повторно-кратковременном режиме частота — не более 150 выключений в час и ПВ=60 %.

2. Овальная рукоятка может быть съемной. При съемиой рукоятке все исполиения, кроме Ж, имеют замок.

3. УП5400 не имеет способа фиксации А, Б, В.

4. Высота установки над уровием моря — до 2000 м.

Таблица 3.81. **Переключатели кулачковые универсальные серии ПКУ3**

Тип	Способ установки и крепления			Способ фиксации (по табл. 3.82)	Степень защиты	Климатическое исполнение
	за панелью	внутри шкафа	на стенах и т. п.			
ПКУ3-11	Передней скобой	—	—	А, Б, Е, И, Л, М, С, Ф, У, Х, Т	IP00	У3, Т3, ХЛ4
ПКУ3-12	То же с фронтальным фланцем			А, Б, Д, Е, И, Л, М, Н, С, Ф, У, Х	IP30	
АКУ3-14	С фронтальным фланцем			А, Б, Д, Е, И, Л, М, Н, С, Ф, У, Х, Т		
ПКУ3-16	—	Задней скобой		А, Б, Д, Е, И, Л, М, Н, С, Ф, У, Х	IP00	
ПКУ3-54	С фронтальным фланцем	—		Д, Е, И, Л, М, Н, С, Ф, У, Х	IP54	УХЛ2, 5; Т2,5
ПКУ3-38	—		На конструкциях		IP30	У3, Т3, ХЛ4
ПКУ3-58 химически стойкое (сх)					IP54	УХЛ2,5; Т2,5; У1(сх)
ПКУ3-64С	С фронтальным фланцем			С	IP65	У1, Т1
ПКУ3-58С	—					

Примечания: 1. Переключатели предназначены для работы в цепях управления до 500 В, 50, 60 и 400 Гц переменного и до 440 В постоянного тока; номинальный ток $I_{ном} = 10$ А. Переключатели надежно коммутируют 24 В и 50 мА ($I_{ном\,р}$ см. в табл. 3.84).

2. ПКУ3 имеют до 16 коммутируемых секций. Рукоятки — флажковые, револьверные, прямоугольные и универсальные.

3. Переключатели для сельского хозяйства (сх) стойки к соляному туману.

Таблица 3.82. **Способ фиксации рукоятки переключателей серий УП5000 и ПКУ3**

Способ фиксации	Обозначение способа фиксации		Угол поворота рукоятки при вращении, град							
	для УП5000	для ПКУ3	против часовой стрелки				по часовой стрелке			
С самовозвратом в начальное положение	А	А	—	—	−45	→0←	+45	—	—	—
	А	Б	—	—	—	0←	+45	—	—	—
	В	—	—	—	−45	→0	—	—	—	—
Фиксация через 90°	Г	—	—	—	—	0	←——→	+90	—	—
	—	Д	—	−90	←——→	0	←——→	+90	—	+180
	Е	Е	—	−90	←——→	0	←——→	+90	—	—

Продолжение табл. 3.82

Способ фиксации	Обозначение способа фиксации		Угол поворота рукоятки при вращении, град							
	для УП5000	для ПКУ3	против часовой стрелки				по часовой стрелке			
Фиксация через 40°	Ж	—	—	—	−45	←→	+45	—	—	—
	И	И	—	—	—	0	+45	—	—	—
	К	—	—	—	−45	0	—	—	—	—
	Л	Л	—	−90	−45	0	+45	+90	—	—
	М	М	−135	−90	−45	0	+45	+90	+135	—
	Н	Н	−135	−90	−45	0	+45	+90	+135	+180
	С	С	—	—	−45	0	+45	—	—	—
	Ф	Ф	—	−90	−45	0	+45	—	—	—
	У	У	—	—	−45	0	+45	+90	—	—
	Х	Х	—	−90	−45	0	+45	+90	+135	—
Фиксация и самовозврат 60°	Т	Т	—	−60	—	0	—	+60	—	—

Примечания: 1. Обозначение фиксации переключателей ставят через дефис после обозначения типа, например УП5312-Ж.

2. Направление вращения по часовой стрелке — положительное (+), против — отрицательное (−).

3. Знак ←→ показывает, что на данных положениях рукоятка не фиксируется.

4. При способах А, Б, В направление возврата указано в положении 0 стрелками (→ , ←).

5. Переключатели для сельского хозяйства (сх) стойки к соляному туману.

3.28. АРМАТУРА СВЕТОСИГНАЛЬНАЯ

Таблица 3.83. **Арматура светосигнальная АС, АЕР, АЕ и АМЕ**

Тип	Данные ламп			
	Тип	Тип цоколя	Мощность, Вт	Напряжение $U_{ном}$, В
АС-11000, АЕР-3100, АЕ-311000	КМ6-60	Коммутаторный	0,5	6
АС-12000, АЕР-3200, АЕ-320000	КМ24-90		2,5	24
АС-21000, АЕР-2100	МН6-03	Е10/20	1,4	6
АС-22000, АЕР-2200	МН26-12-1		3,5	26
АС-31000, АМЕ-110000	А6-1	В9S/14	1,6	6
АС-32000, АЕР-1200, АМЕ-120000	А24-1		2,5	24
АЕР-1100	А34		0,6	6
АС-43000	Ц110-4	В15d/18	4,0	110
АС-44000	Ц220-7		7,0	220

Примечания: 1. Арматура предназначена для работы в сетях от 6 до 660 В переменного и постоянного тока.

2. При заказе арматуры в формуляре вместо нулей проставляются цифры: для АС на третьем и четвертом местах — обозначение размера светового отверстия (габарита) от 0,1 до 11, на пятом месте — цвет светофильтра (1—5). Арматура не имеет исполнения с трансформатором; для АЕ, АМЕ и АЕР на третьем месте — цвет светофильтра; на четвертом — цифры: 1 — с трансформатором; 2 — без трансформатора.

3. Установочные отверстия арматур: габарит АС 01—16,2 мм; другие габариты — 30,2 мм; АМЕ — 22,5 мм; АЕ и АЕР — 30,2 мм.

4. Степень защиты арматуры определяется степенью защиты шкафа или пульта, в которые она будет встроена, так как со стороны контактов степень ее IP00. Исполнение светового отверстия позволяет степень защиты и соответственно климатическую категорию устройства довести: для АС (габаритов 01 — 03) до IP45 — УХЛ3, 5, Т3, 5; прочих габаритов до IP65 — УХЛ2, Т1; для АЕ и АМЕ до IP65 — УХЛ2, Т2; для АЕР до IP65 — УХЛ1,5; данная арматура имеет также химически стойкое исполнение, при этом в конце обозначения ставят букву Х, например АЕР1200Х.

5. Высота установки — до 2000 м над уровнем моря.

Таблица 3.84. **Коммутационная износостойкость контактов реле, кнопок, командоаппаратов, вспомогательных контактов автоматических выключателей, контакторов, пускателей при номинальных рабочих токах $I_{ном\,р}$. Режим нормальных коммутаций**

Тип аппарата	Номинальное рабочее напряжение $U_{ном\,р}$, В	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Коммутационная износостойкость, млн. циклов ВО	Коммутируемый ток			
				переменный АС11*1		постоянный ДС11	
						Включение и отключение	
				Включение $I_{ном.р}$, А	Отключение $I_{ном\,р}$, А	Ток $I_{ном\,р}$, А	Постоянная времени, мс
Контакторы							
КТ6000 КТП6000	660	10	1	15	1,5	—	—
	380			25	2,5	—	—
	220			35	3,5	0,5	50
	110	—	—	—	—	1,25	50
МК	660	10	1,6	10	1	—	—
	500			15	1,5	—	—
	380			25	2,5	—	—
	220			35	3,5	0,5	50
	127(110)			60	6	1,25	50
КТ6000С КТП6000С	660		0,01	15	1,5	—	—
	380			25	2,5	—	—
	220			—	—	0,5	50
	110			—	—	1,25	50
КМ-13	660		1,5	0,3	0,03	—	—
КМ-13	380	10	1,5	2,5	0,25	—	—
	220			2,5	0,25	0,5	50
	110			—	—	1,25	50
КМ-15	660		1	6	0,6	—	—
	380			15	1,5	—	—
	220			15	1,5	0,2	50
	110			—	—	0,5	50
Магнитные пускатели							
ПМА(А)	660	10	1,6	10	1	—	—
	380			15	1,5	—	—
	220			25	2,5	0,2	50
	127(110)			30	3	0,5	50
ПМА(Б, В)	660		0,8	10	1	—	—
	380			15	1,5	—	—
	220			25	2,5	0,2	50
	127(110)			30	3	0,5	50
ПМЛ	660		3	6	0,6	—	—
	380		3	7,8	0,78	—	—
	380		1	13,6	13,6	—	—
	220		3	—	—	0,15	50
	220		1	—	—	0,3	50

Продолжение табл. 3.84

Тип аппарата	Номинальное рабочее напряжение $U_{ном.р}$, В	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Коммутационная износостойкость, млн. циклов ВО	Коммутируемый ток			
				переменный АС11*[1]		постоянный ДС11	
						Включение и отключение	
				Включение $I_{ном.р}$, А	Отключение $I_{ном.р}$, А	Ток $I_{ном.р}$, А	Постоянная времени, мс
Автоматические выключатели ВА							
ВА51-25	660	4	30*[2]	2	0,2	—	—
ВА51Г-25	380		50	30	3	—	—
	220		50	30	3	0,2	50
ВА51-31(33)*[3]	660		16(6,3)	5	0,5	—	—
ВА52-31(33)	380			30	3	—	—
	220			30	3	0,4	50
	110			35	3,5	0,6	50
ВА51-35	660	4	6,3*[4]	7	0,7	—	—
ВА52-35	380			10	1	—	—
	220			20	2	0,3	50
Свободные контакты и контакт сигнализации отключения							
ВА51-37,39	660	4*[5]	1,6*[6]	7	0,7	—	—
ВА52-37,39	380			10	1	—	—
ВА53-37,39	220			20	2	0,3	50
ВА55-37,39							
ВА75-45;	660	4	0,06—1,6	5	0,5	—	—
ВА75-47	380			10	1	—	—
	220			20	2	0,3	50
Выключатели и переключатели кнопочные							
КМЕ	380	10	2,5	15	1,5	—	—
	220		2,5	30	3	—	—
	220		1	—	—	0,12	50
КЕ	500	10	1	20	2	—	—
	380		3	30	3	—	—
	220		3	50	5	—	—
	220		1	—	—	0,3	50
	110		1	—	—	0,6	50
ПЕ(ПКЕ)	380	10	3	30	3	—	—
	220		3	50	5	—	—
	220		1	—	—	0,3	50
	110		1	—	—	0,6	50
Переключатели универсальные							
УП5300	380	16	0,2	15	1,5	—	—
УП5400	220			30	3	0,2	10
1 разрыв	110			—	—	0,3	10
2 разрыва	380			100	10	—	—
	220			100	10	0,8	10
	110			—	—	2	10
ПКУ3	500	10	0,2/0,1*[7]	40	6*[8]	—	—
	380			70	7*[8]	—	—
	220					0,5	20
	110			—	—	2,5	150

Продолжение табл. 3.84

Тип аппарата	Номинальное рабочее напряжение $U_{ном.р}$, В	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Коммутационная износостойкость, млн. циклов ВО	Коммутируемый ток			
				переменный АС11*[1]		постоянный ДС11	
						Включение и отключение	
				Включение $I_{ном\ р}$, А	Отключение $I_{ном\ р}$, А	Ток $I_{ном\ р}$, А	Постоянная времени, мс
Комаидоаппараты и путевые выключатели							
КА4000	380	16	0,25	16	1,6	—	50
	440			—	—	0,5	100
	220			—	—	2	100
	110			—	—	2,5	100
ВП16*[9]	600	16	2,5/1	11	1,1	—	—
одна цепь	380			14	1,4	—	—
	440			—	—	0,05	50
	220			18	1,8	0,28	50
	220			—	—	1,1	10
	110					0,4	50
БВП15	380	10	1,0/0,4	1,0	0,1	—	10
	220			2,5	0,25	0,025	10
	110			—	—	0,04	—
Реле							
РПЛ	660	16	3/1,6*[7]	3	0,3	—	50
	440			—	—	0,06	50
	380			5	0,5	—	—
	220			7,8	0,78	0,15	50
	110			—	—	0,34	50
РПГ8	380	4	2,5	1,25	0,25	—	—
РПГ9	220		4*[11]	2	0,2	0,15	60
РПГ10	110		2,5	4	0,4	—	—
РПГ13	24		2,5	—	—	1	50
РПГ14	6		6	—	—	0,01	50
РПУ-2	380	6	4	4	0,4	—	—
	220			7	0,7	0,1	50
	127(110)			12	1,2	0,18	50
	48			—	—	0,6	50
	24			—	—	1	50
РПУ-3	660	10	1,25/0,4	10	1	—	
	380			25	2,5	—	
	220			—	—	0,4	50
	110			—	—	1,6	50
ПЭ-36, ПЭ-37	440	6	4	0,5	0,05	—	—
	380		—	1,3	0,13	—	—
	220		4*[11]	2	0,2	0,1	50
	110		2,5	—	—	0,15	50
	48		2,5	—	—	0,3	50
	24		2,5	—	—	0,6	50
РП20	220	2,5	4	2	0,2	0,05	50
	110			4	0,4	0,08	50
	24					0,3	50

Продолжение табл. 3.84

Тип аппарата	Номинальное рабочее напряжение $U_{ном\,р}$, В	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Коммутационная износостойкость, млн. циклов ВО	Коммутируемый ток			
				переменный АС11*[1]		постоянный ДС11	
						Включение и отключение	
				Включение $I_{ном.р}$, А	Отключение $I_{ном\,р}$, А	Ток $I_{ном\,р}$, А	Постоянная времени, мс
РП20	380	6	4	2,7	0,27	—	—
	220			4	0,4	0,08/2*[10]	50
	110			—	—	0,15/1	50
	48			—	—	0,3/0,4	50
	24			—	—	0,6/0,2	50
РП21	380	5	0,16	16	0,16	—	—
	220		4	4	0,4	—	—
	110		2	—	—	0,25	50
	24		2	—	—	0,8	50

*[1] Коэффициент мощности для всех случаев при включении 0,7, при отключении 0,4.
*[2] Для выключателей ВА износостойкость указана в тысячах циклов ВО в зависимости от величины выключателя по току.
*[3] В том числе и для выключателей ВА с буквой Г.
*[4] Для ВА52-35 коммутационная износостойкость 4 тыс. циклов.
*[5] Для контакта сигнализации отключения $I_{ном\,р}$ равен 2 А.
*[6] Для ВА51-37, ВА51-39 коммутационная износостойкость составляет 6,3 тыс. циклов, а для ВА52-37 и ВА-39 — 2,0 тыс. циклов.
*[7] В числителе указана коммутационная износостойкость для исполнения А, в знаменателе — для Б.
*[8] $\cos\varphi = 0{,}35$.
*[9] При двух коммутируемых цепях токи $I_{ном.р}$ в АС11 и ДС11 в 2 раза меньше.
*[10] В знаменателе исполнение с дугогашением.
*[11] При постоянном токе износостойкость 2 млн. циклов.

помощи выступов на шайбах, насаженных на общий вал. Стандартные шайбы позволяют получить практически любую диаграмму (комбинацию) при соответствующих положениях рукоятки, приведенных в табл. 3.82. Так как число возможных диаграмм велико, завод поставляет переключатели по стандартизированным диаграммам, позволяющим получить достаточное их число для всех схем, встречающихся при проектировании.

3.29. СИЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ (ШКАФЫ) *

Для распределения электроэнергии и защиты электрических сетей от токов короткого замыкания применяют распределительные шкафы (пункты) с плавкими предохранителями или автоматическими выключателями.

Распределительные пункты серий ПР11, ПР22, ПР24 и др. с автоматическими выключателями снимают с производства. Вместо них для сетей переменного тока напряжением до 660 В частотой 50 и 60 Гц будут выпускать шкафы ПР8501, а для сетей постоянного тока напряжением до 220 В — шкафы ПР8701 (рис. 3.17, 3.18, табл. 3.85 и 3.86). В шкафах той же серии, выпускаемых для осветительных сетей (см. разд. 4, табл. 4.9), могут быть использованы для силовых установок схемы шкафов до 660 В с трехполюсными выключателями ВА51-31.

Продолжается выпуск распределительных шкафов серии ШР11 с плавкими предохранителями НПН2 и ПН2 (табл. 3.87). Эти шкафы должны применяться в силовых электроустановках трехфазного тока напряжением до 500 В.

В шкафы ПР8501 и ПР8701 встраиваются выключатели без свободных контактов и дистанционных расцепителей. Вводные выключатели снабжены ручным приводом, рукоятка которого выведена на лицевую сторону шкафа

* Кроме шкафов, приведенных в данном параграфе, для небольших промышленных предприятий и административных зданий рекомендуется применять шкафы серии ШРС1 производства заводов НПО «Электромонтаж» Минмонтажспецстроя СССР [33].

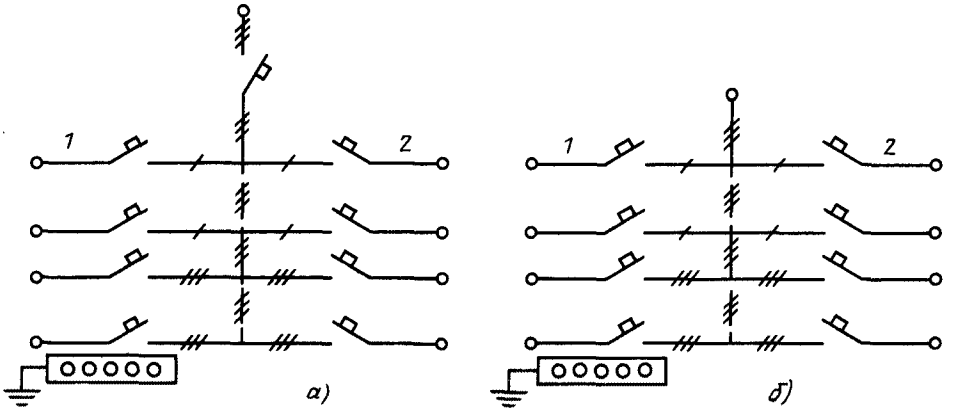


Рис. 3.17. Схемы распределительного силового пункта (шкафа) серии ПР8501 и ПР8701:
а — с выключателем на вводе для схем 090—098, 115—123, 140—148; *б* — без выключателя на вводе для схем 149—157

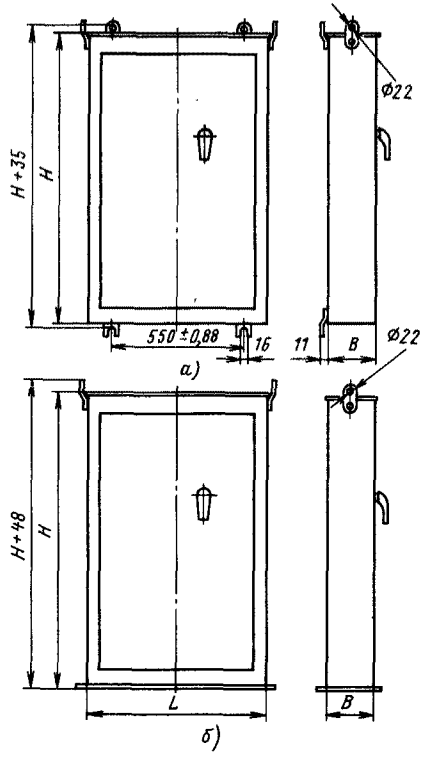


Рис. 3.18. Общий вид силовых распределительных шкафов ПР8501 и ПР8701:
а — навесное исполнение; *б* — напольное исполнение

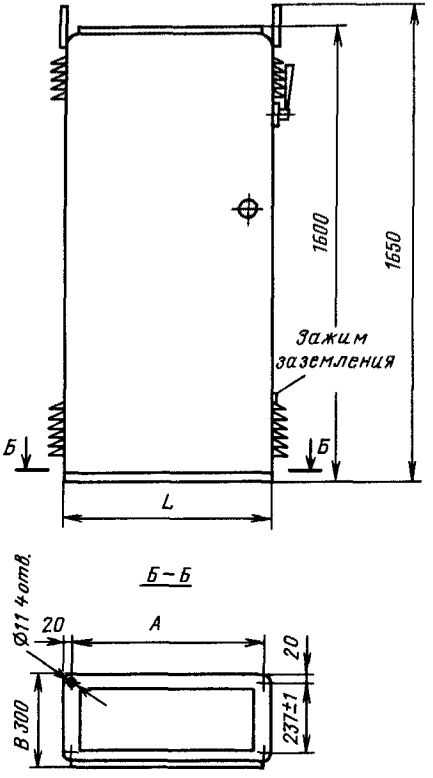


Рис. 3.19. Общий вид силового распределительного шкафа ШР11 (навесное и напольное исполнения)

Таблица 3.85. **Шкафы навесные распределительные для силовых установок переменного (ПР8501-1000) и постоянного (ПР8701-1000) тока**

Номера схем шкафов при номинальном токе 630 А (рис. 3.17)				Число и тип трехполюсных выключателей на отходящих линиях	
без выключателей на вводе с зажимами	с выключателями на вводе *			ВА51-31	ВА51-35
	ВА51-39	ВА55-39	ВА56-39	с расцепителями на ток, А	
				16—100	100—250
149(057)	(022)090	(035)115	(048)140	6	—
150(058)	(023)091	(036)116	(049)141	8	—
151(059)	(024)092	(037)117	(050)142	10	—
152(060)	(025)093	(038)118	(051)143	12	—
153(061)	(026)094	(039)119	(052)144	—	4
154(062)	(027)095	(040)120	(053)145	2	2
155(063)	(028)096	(041)121	(054)146	4	2
156(064)	(029)097	(042)122	(055)147	6	2
157(065)	(030)098	(043)123	(056)148	8	2

* Шкафы распределительные с выключателями на вводе серий ВА51-39 и ВА55-39 могут применяться только: при отсутствии в начале питающей линии выключателя с защитой (при глухой отпайке от магистрального шинопровода); если выключатели отходящих линий не устойчивы к токам КЗ.

Примечания: 1. В скобках указаны схемы шкафов постоянного тока ПР87, без скобок — ПР85.

2. Шкафы со степенью защиты IP21 имеют климатическое исполнение и категорию У3, со степенью защиты IP54 имеют УХЛ2, Т2, а также химически стойкое исполнение.

Таблица 3.86. **Размеры шкафов силовых распределительных серий ПР8501 переменного и серии ПР8701 постоянного тока с выключателями серии ВА50**

Номера схем шкафов по табл. 3.88	Род тока	Размеры, мм, по рис. 3.18		
		H	*L*	*B*
Навесное исполнение				
090, 149*, 150—151, 094, 095, 153—155*, 156	Переменный	1000	750	200
119, 120, 144			850	250
145				
022, 056—059, 057*, 026, 027, 061—063*, 064	Постоянный			200
039, 040, 052, 053				250
Навесное и напольное исполнение				
090*, 091—093, 150—152*	Переменный	1200	750	200
115—117, 140—142				200
094*, 095—098, 156, 157			850	200
119*, 120*, 121—123, 144*, 145*, 146—148				250
022*, 023—025, 058—060*	Постоянный		750	200
035—037, 048—050				250
026*, 027*, 028—030, 064*, 065*			850	200
040*, 041—042, 052*, 053*, 039*, 054—056		1200	850	250

Продолжение табл. 3.86

Номера схем шкафов по табл. 3.88	Род тока	Размеры, мм по рис. 3.18		
		H	*L*	*B*
091—093* 115—118*, 140—143*	Переменный	1400	750	200 250
096—098* 121—123*, 146—148*			850	200 250
023—025*	Постоянный		750	200
035—038*, 045—051*				250
028—030* 041—043*, 054—056*			850	200 250

* Для исполнения с вводом кабеля с бумажной изоляцией снизу.

Таблица 3.87. **Шкафы силовые распределительные серии ШР11 с плавкими предохранителями ПН2 и (или) НПН2-60**

Обозначение	Рубильник на вводе				Число трехполюсных групп предохранителей, их номинальный ток $I_{ном}$, А, на отходящих линиях	Размеры шкафов по рис. 3.19, мм		
	Тип	Номинальный ток $I_{ном}$, А, при степени защиты и климатической категории				*H*	*L*	*B*
		IP22, У3	IP54					
			У2	Т2				
ШР11-73701 ШР11-73702 ШР11-73703	Р18-353	250	200	190	5×63 5×100 2×63+3×100	1600	500	300
ШР11-73704*(12) ШР11-73705*(13) ШР11-73706*(14)	Р18-373	400	320	300	8×63 8×100 8×250		700	
ШР11-73707 ШР11-73708					3×100+2×250 5×250		500	
ШР11-73709*(15) ШР11-73710*(16) ШР11-73711*(17)					4×63+4×100 2×63+4×100+2×250 6×100+2×250		700	

* Шкафы могут быть изготовлены с двумя рубильниками на вводе.

для управления при закрытой дверце. Рукоятка может запираться. Верхняя и нижняя крышки съемные, вводные отверстия для проводников выполняются при монтаже. Ввод проводников с алюминиевой и медной жилами в шкафы допускается с любой изоляцией как сверху, так и снизу, при этом ввод кабелей с бумажной изоляцией допускается только снизу. Присоединение жил проводников к зажимам обеспечивается без пайки и наконечников. Шкафы допускают присоединение к магистрали. Их зажимы при токах 400—630 А рассчитаны на присоединении четырех входящих и отходящих проводников сечением 3× ×120 мм^2, а при токах 160—250 А — по два проводника того же сечения.

Ошиновка шкафов ПР8501 и ПР8701 стойкая к сквозным токам КЗ до 50 кА, а шкафов ШР11 — до 25 кА (рис. 3.19).

3.30. ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЕ ПУСКОВЫЕ АППАРАТЫ

Пускатели. Для пуска, реверса и остановки трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором во взрывоопасных зонах применяют взрывозащищенные пускатели — электромагнитные ПМ-32 и тиристорные ПТ.

Пускатель ПМ-32 имеет уровень взрывозащиты — «повышенная надежность против взрыва», вид взрывозащиты — «взрывонепроницаемая оболочка» по ГОСТ 22782.6—81 * и защиту вида «е» по ГОСТ 22782.7—81. Маркировка взрывозащиты 2ExdeIICT5.

Структура условного обозначения:

ПМ-32 ХХ(Х-Х) Х-Х

ПМ — пускатель электромагнитный;

32 — номинальный ток продолжительного режима, А;

ХХ — климатическое исполнение (У, Т) и категория размещения (4) по ГОСТ 15150—69 * и ГОСТ 15543—70 *;

(Х-Х) — пределы регулирования уставки тока несрабатывания защиты от перегрузки, А: 1,5—2,6; 2,4—4,0; 3,8—6,0; 5,5—8,0; 7,0—10,0; 9,5—14,0; 13,0—19,0; 18,0—25,0;

Х — напряжение сети, В;

Х — частота сети, Гц.

При резком понижении или исчезновении напряжения контакты пускателя, не удерживаемые электромагнитом, отпадают, предотвращая этим произвольный самозапуск электродвигателя при восстановлении напряжения. В случае необходимости самозапуска кнопку управления фиксируют в положении «пуск».

Управление пускателем может быть местное — кнопкой, встроенной в корпус пускателя, и дистанционное — кнопочным постом, установленным в любом месте отдельно от пускателя. Схема внутренних соединений дает возможность осуществлять работу двух пускателей с реверсом и их взаимную блокировку.

Технические данные пускателей ПМ-32 приведены в табл. 3.88.

Пускатели тиристорные ПТ предназначены для дистанционного пуска, реверса и остановки трехфазных асинхронных короткозамкнутых электродвигателей. Пускатели ПТ имеют два исполнения — взрывозащищенное и общего назначения. Взрывозащищенные тиристорные пускатели помещены в защитную оболочку, соответствующую категории и группе взрывоопасной смеси, в среде которой они должны работать. Пускатели осуществляют защиту от токов короткого замыкания и от перегрузки с регулируемым током срабатывания.

Реверсивный пускатель кроме включения, отключения и реверса выполняет динамическое торможение с последующим отключением двигателя. При необходимости пускатель может использоваться без динамического торможения.

Технические данные тиристорного пускателя приведены в табл. 3.89.

Посты управления кнопочные взрывозащищенные серии КУ-90 (табл. 3.90) предназначены для работы в электрических цепях управления переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением до 380 В с заземленной

Таблица 3.88. **Технические данные взрывозащищенного пускателя ПМ-32**

Параметры	Величина
Номинальное напряжение, В	380, 660
Наибольшая мощность включаемого электродвигателя, кВт	16, 28
Предельная коммутационная способность, А:	
отключающая (действующее значение тока)	1000
включающая (мгновенное значение тока)	1600
Количество вспомогательных блокировочных контактов:	
замыкающих	2
размыкающих	1
Диаметр сетевого ввода и транзитного ввода, мм	18; 21; 25; 29
Диаметр вывода к электродвигателю и ввод контрольного кабеля, мм	16; 20; 24
Габариты, мм	380×320×335

Таблица 3.89. **Технические данные тиристорных пускателей ПТ**

Параметры	Тип пускателя	
	ПТ-16-380-У5	ПТ-40-380-У5
Номинальное напряжение, В	380	380
Номинальный ток, А	16	40
Допустимый пусковой ток, А	25	63
Напряжение постоянного тока в цепях, разрываемых кнопками управления, В	30±2	
Допускаемый ток в цепях, разрываемых кнопками, А, не более	0,45	
Габариты пускателя, мм:		
нереверсивного	239×190×388	314×190×388
реверсивного	348×190×388	474×190×388
Масса пускателя, кг:		
нереверсивного	18	25
реверсивного	24	37

нейтралью и постоянного тока напряжением до 220 В, а также для работы в искробезопасных цепях напряжением до 60 В в стационарных и передвижных установках.

Посты КУ-90-1 ExdIIBT5 рассчитаны для установки во взрывоопасных помещениях и наружных установках всех классов согласно ПУЭ.

Структура условного обозначения:

КУ-9Х-ХХ-ХХ

К — кнопочный пост;
У — управления;
9 — серия;
Х — число кнопочных элементов;
ХХ — исполнение по взрывозащите;
ХХ — климатическое исполнение (У, Т, ХЛ) и категория размещения (2,5) по ГОСТ 15150—69 * и ГОСТ 15543—70 *.

Переключатели универсальные УП5800 с взрывобезопасным уровнем взрывозащиты, маслонаполненные, с маркировкой МОД (В4Т5-М) предназначены для работы в сетях переменного и постоянного тока для коммутации в схемах управления и автоматики, ручного переключения полюсов многоскоростных асинхронных электродвигателей и переключения электроизмерительных приборов (вольтметров и амперметров). Переключение контактных секций осуществляется поворотом рукоятки кулачковых шайб. Метод набора диаграмм такой же, как у обычных переключателей УП5300. Технические данные переключателей УП5800 приведены в табл. 3.91.

Командоаппараты — кулачковые регулируемые взрывозащищенные серии КА4800.

Командоаппараты предназначены для автоматического управления электроприводами и применяются в качестве путевых выключателей; рассчитаны для работы в цепях управления постоянного тока напряжением от 110 до 440 В и переменного тока от 220 до 500 В частотой 50 и 60 Гц.

Таблица 3.90. **Технические данные кнопочных постов КУ-90**

Параметры	Тип кнопочного поста		
	КУ-90	КУ-92	КУ-93
Переменный ток:			
номинальное напряжение, В	380	380	380
номинальный ток, А	10	10	10
Постоянный ток:			
номинальное напряжение, В	110 220	110 220	110 220
номинальный ток, А	10 5	10 5	10 5
Количество кнопочных элементов	1	2	3
Количество вводов	1	2	2
Отверстия в сальниках, мм:			
наименьшее	12	12	12
наибольшее	24	24	24
Количество контактов:			
замыкающих	1	2	3
размыкающих	1	2	3
Габариты, мм	89×98×140	127×107×140	163×123×140
Масса, кг	0,75	1,3	1,6

Примечание. Кнопочные станции КУ-90 могут поставляться с фиксатором положений «пуск» и «стоп».

Командоаппараты являются маслонаполненными в исполненни В4Т5-М, работают в стационарных установках во взрывоопасных помещениях всех классов (для наружных установок взрывоопасной зоны класса В-Iг — под навесом), где могут возникать взрывоопасные и газопаровоздушные смеси всех категорий и групп, и в помещениях взрывоопасной зоны классов В-II, В-IIа, где могут возникать пылевоздушные смеси с температурой тленя пыли выше 130 °С.

Структура условного обозначения:

КА48Х8-ХХ2

КА — командоаппарат;
4 — регулируемый;
8 — серия;
Х — число коммутируемых элементов (2,4);
8 — командоаппараты с замедляющим редуктором;
Х — передаточное число редуктора (1:1,3; 1:15);
Х2 — климатическое нсполнение (У, Т) и категория размещения по ГОСТ 15150—69 * н ГОСТ 15543—70 *.

Технические данные командоаппаратов приведены в табл. 3.92.

Выключатели путевые взрывозащищенные серии ВПВ предназначены для коммутации электрических цепей, контроля и блокировки при дистанционном управлении электроприводами машин и механизмов в передвнжных и стациональиых устаиовках, а также для сигнализации состояния отдельных элементов электроприводов. Выключатели прнводятся в действие управляющими упорами (кулачками) в определенных точках пути контролируемого объекта.

Структура условиого обозначения:

ВПВ-ХХХХХХХ

В — выключатель;
П — путевой;
В — взрывозащищенный;
Х — исполнение по числу и характеру контактов: 1 — 1р + 1; 4 — 2р + 2з;
Х — исполнение по виду уплотнительного кольца: 1 — для ввода проводов в трубах;
Х — исполнение по виду привода: 1 — толкатель, параллельный длинной стороне выключателя, 2 — рычаг с роликом, 3 — рычаг с тросом, 4 — рычаг с педалью, 5 — у-образный рычаг;
Х — исполнение по комбинации включения прнводом подвижных контактов: 1 — приведение всех контактов в действие при движении привода (толкателя, рычага) в одном направлении, 2 — приведение всех контактов в действие при повороте рычага по часовой стрелке, с холостым ходом рычага в противоположном направлении, 3 — то же при повороте рычага протнв часовой стрелки, 4 — то же при повороте рычага в обоих направлениях;
Х — исполнение по взрывозащите: 1 — РВ — 2В, ExdI, 1ExdII АТ6; 2 — 1ExdII СТ6; 3 — 1ExdII ВТ6; 4 — 2ExdII СТ6;
ХХ — климатическое исполнение (У, ХЛ, Т) и категория размещения (1, 5) по ГОСТ 15150—69 * и ГОСТ 15548—70 *.

Электрическне параметры выключателей приведены в табл. 3.93, конструктивные — в табл. 3.94.

Выключатели путевые взрывозащищенные маслонаполненные типа ВП-701 предназначены для коммутации электрических цепей управления н сигнализации переменного тока в приводе периодически работающих механизмов с автоматическим или полуавтоматическим циклом.

Выключатели используют для работы в стационарных установках, допускается также их применение в установках, передвигающихся по рельсовым путям. Выключатели устанавливают в помещениях, где могут возникать смеси газов или паров горючих жидкостей с воздухом, относящиеся к 1, 2, 3-й и 4-й категориям взрывоопасности и группам Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 воспламеняемости (согласно ПУЭ).

Электроизоляционная жндкость, наполняющая выключатель, делает его безопасным в таких условиях (при строгом контроле за уровнем жидкости в аппарате). Пользоваться выключателем, не заполненным изоляционной жидкостью, запрещается.

Структура условного обозначения:

ВП-701/11ExdIIT6X2

ВП — выключатель путевой;
701 — серня;
1 — расположение указателя со стороны редуктора (при расположении указателя со стороны, противоположной редуктору, цифра отсутствует);
1 — взрывобезопасность электрического оборудования;
Ex — соответствие стандарту взрывозащиты;
d — масляное заполнение оболочки;
II — группа электрооборудования;
Т6 — температурный класс;
Х2 — климатическое исполнение (У, Т) и категория размещения (2) по ГОСТ 15150—69 * и ГОСТ 15543—70 *.

Технические данные выключателя приведены в табл. 3.95.

Таблица 3.91. **Технические данные переключателей УП5800**

Электрические параметры				Конструктивные параметры			
Род тока и характеристика токовой нагрузки	Допустимый ток, А, при напряжении, В			Тип переключателя	Количество секций	Габариты, мм	Масса, кг
	110	220	380				
Переменный при $\cos\varphi=0{,}4$:				УП5802	2	185×174×194	13,3
один разрыв	—	5	2,5	УП5804	4	185×174×334	13,9
два разрыва	—	10	10	УП5806	6	185×174×374	14,4
предельно допустимый	—	20	20	УП5808	8	185×174×414	15,0
				УП5810	10	185×174×454	15,5
Постоянный при $L/R=0{,}04$ с:				УП5814	14	185×174×534	16,7
один разрыв	0,4	0,3	—				
два разрыва	2,5	1,25	—				
предельно допустимый	20	20	—				

Примечания: 1. Фиксация положения через 90 или 45°.
2. Количество вводов — по два с каждой стороны.
3. Наибольший диаметр вводимого кабеля 20 мм.
4. Конструктивные параметры переключателей УП5800 переменного и постоянного тока одинаковые.

Таблица 3.92. **Технические данные командоаппаратов КА4800**

Электрические параметры		Конструктивные параметры				
Род тока и характеристика токовой нагрузки	Ток, А	Тип комаидоаппарата	Число коммутирующих цепей	Передаточное число редуктора	Габариты, мм	Масса, кг
Переменный ток при $\cos\varphi=0{,}4$:		КА4828-1	2	1:1	300×437×220	35
		КА4828-3	2	1:15	300×437×220	35
длительно допустимый	10	КА4848-1	4	1:1	300×537×220	40
кратковременный до 10 с	50	КА4848-3	4	1:15	300×537×220	40
предельно отключаемый, не менее	20					
Постоянный при $L/R=0{,}05$ с:						
длительно допустимый	10					
кратковременный до 10 с	50					
предельно отключаемый, не менее	0,05					

Примечания: 1. Для контроля уровня масла в кожухе имеется указатель.
2. Питающие проводники вводятся через сальник аппарата. Вводное отверстие допускает ввод кабелей диаметром 16 мм или труб диаметром 25 мм.
3. Конструктивные параметры переключателей КА4800 переменного и постоянного тока одинаковые.

Таблица 3.93. **Электрические параметры выключателей ВПВ**

Род тока и характеристика тепловой нагрузки	Допустимый ток, А, при напряжении, В				
	127	220	380	440	660
Переменный ток:					
номинальный рабочий ток	10	10	10	—	10
ток включения при $\cos\varphi=0{,}6$	12	8,4	6,0	—	4,0
ток отключения при $\cos\varphi=0{,}3$	3,5	2,7	1,8	—	0,6
Постоянный ток:					
номинальный рабочий ток	10	0,24	—	10	—
ток включения и отключения при $L/R=0{,}01$ с	0,4	0,24	—	0,12	—

Таблица 3.94. **Конструктивные параметры выключателей ВПВ**

Параметры	Тип пускателя	
	ВПВ-1	ВПВ-4
Количество контактов:		
размыкающих	1	2
замыкающих	1	2
Габариты, мм, с приводом в виде:		
толкателя	80×127×55	—
рычага с роликом	80×159,5×55	179×200×185
рычага с тросом	—	179×200×185
рычага с педалью	—	183×200×170

Примечание. Вводные отверстия допускают ввод кабеля диаметром 11 мм и труб диаметром 22 мм.

Таблица 3.95. **Технические данные выключателя ВП-701**

Параметры	Величина параметра
Переменный ток:	
номинальное напряжение, В	380
номинальный ток, А	1
предельно включаемый ток при $\cos\varphi=0{,}4$ А	5
предельно отключаемый ток при $\cos\varphi=0{,}4$ А	1
Постоянный ток:	
номинальное напряжение, В	220
номинальный ток, А	1
предельно включаемый ток при $L/R=0{,}5$ с, А	5
предельно отключаемый ток при $L/R=0{,}5$ с, А	1
Количество встроенных кнопочных элементов	3
Количество вводов	1
Диаметр вводного устройства, мм:	
минимальный	16
максимальный	25
Габариты, мм	230×227×242
Масса, кг	6

3.31. НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Низковольтным комплектным устройством (НКУ) называется электротехническое устройство с переменным напряжением до 1 кВ и постоянным до 1,2 кВ, представляющее собой совокупность электрических аппаратов, приборов и другого электрооборудования, смонтированного на единой конструктивной основе и предназначенного для выполнения хотя бы одной или нескольких следующих функций: управления, распределения, трансформации, защиты, измерения и сигнализации.

НКУ подразделяют:

по конструктивному исполнению на:

открытые комплектные устройства (КУ);

защищенные КУ (блоки и панели в напольных шкафах);

защищенные многоящичные КУ;

ящики навесные;

пульты, посты управления, столы напольные;

панели сигнализации и управления;

по аппаратной базе, составляющей основу НКУ, с:

релейно-контакторной аппаратурой;

бесконтактной сильноточной аппаратурой;

бесконтактной слаботочной электронной аппаратурой (полупроводниковые приборы, интегральные компоненты);

микросредствами вычислительной техники (программируемые контроллеры, микроЭВМ);

по электрическим параметрам:

роду тока (постоянного, переменного, постоянного и переменного);

номинальному току силовой цепи (до 2500 А, свыше 2500 А);

номинальному напряжению силовой цепи:

для нужд народного хозяйства — 24, 42, 220, 380, 660 В;

переменного тока частотой 50 Гц; 24, 48, 110, 220, 440 В постоянного тока;

для экспорта в страны с умеренным и тропическим климатом — 24, 42, 220, 380, 400, 415, 660 В переменного тока частотой 50 Гц; 220, 380, 440 В переменного тока частотой 60 Гц; 24, 48, 110, 220, 440 В постоянного тока;

номинальному напряжению вспомогательных цепей:

для нужд народного хозяйства — 24, 42, 110, 220, 380 В переменного тока часто-

той 50 Гц; 24, 48, 60, 110, 220, 440 В постоянного тока;

для экспорта в страны с умеренным и тропическим климатом — 24, 42, 110, 220, 230, 240, 380, 400, 415 В переменного тока частотой 50 Гц; 24, 48, 60, 110, 220, 440 В постоянного тока;

по способу обслуживания:

одностороннее;

двустороннее;

по назначению для различных отраслей промышленности:

общепромышленные;

металлургической промышленности;

сельского хозяйства;

химической промышленности и других отраслей.

Основными параметрами, определяющими конструкцию НКУ, являются:

степень защиты оболочки;

условия эксплуатации, хранения и транспортирования в отношении воздействия климатических и механических факторов внешней среды;

габариты и масса;

вентиляция.

Степень защиты оболочек НКУ (ГОСТ 14254—80) характеризуется двумя показателями (табл. 3.96) — степенью защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, а также степенью защиты встроенного в оболочку оборудования от попадания твердых посторонних тел (первая цифра в обозначении) и степенью защиты электрооборудования от проникновения воды (вторая цифра в обозначении).

Условия эксплуатации, хранения и транспортирования в отношении воздействия климатических факторов внешней среды определяются по ГОСТ 15150—69 * и ГОСТ 15543—70 *.

Низковольтные комплектные устройства предназначаются для эксплуатации в одном или нескольких микроклиматических районах и изготовляются в климатических исполнениях, приведенных в табл. 3.97.

Таблица 3.97. **Климатическое исполнение**

Обозначение по ГОСТ 15150-69*	Климатическое исполнение для микроклиматического района с климатом
У	Умеренным
УХЛ	Умеренным и холодным
ХЛ	Холодным
Т	Сухим и влажным тропическим
О	Любым на суше, кроме очень холодного (общеклиматическое исполнение)

В зависимости от места размещения при эксплуатации в воздушной среде НКУ изготовляют по категориям размещения, указанным в табл. 3.98.

Условия хранения и транспортирования НКУ в отношении воздействия климатических факторов внешней среды приведены в табл. 3.100.

Условия транспортирования являются такими же, как условия хранения на открытых площадках: для умеренного и холодного климата — группа условий хранения Ж1; для тропического климата и при морских перевозках — группа условий хранения ОЖ1.

Для НКУ, транспортирование которых предусмотрено только в закрытом транспорте, условия транспортирования являются такими же, как условия хранения: для умеренного и холодного климатов — группа условий хранения Ж2; для влажного тропического климата — группа условий хранения ОЖ2; для морских перевозок в трюмах — группа условий хранения Ж3.

Условия эксплуатации и транспортирования НКУ в части воздействия механических факторов внешней среды определяются ГОСТ 17516—72 * и обозначаются буквой М и по-

Таблица 3.96. **Исполнения НКУ по степени защиты оболочек (ГОСТ 14254—80*)**

Первая цифра в обозначении	Защита от твердых тел размером более, мм	Защита от проникновения воды (вторая цифра в обозначении)			
		0	1	2	3
		Защита отсутствует	Защита от капель вертикально	Защита от дождя	Защита от брызг в любом направлении
0	Защита отсутствует	IP00	—	—	—
1	50	—	—	—	—
2	12	IP20	IP21	—	—
3	2,5	—	IP31	—	—
4	1,0	—	IP41	IP43	IP44
5	Защита от пыли	—	—	—	IP54

Таблица 3.98. **Категория размещения**

Обозначение категории	Характеристика категории изделия для эксплуатации
1	На открытом воздухе
2	Под навесом
3	В закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий
4	В помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями
4.1	В помещениях с кондиционированиым или частично кондиционированиым воздухом
4.2	В лабораторных помещениях
5	В помещениях с повышенной влажностью

Таблица 3.99. **Значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации НКУ**

Исполнение	Категория размещения	Температура воздуха при эксплуатации, °С (рабочие)	
		Верхнее значение	Нижнее значение
У	1, 2, 3	+40	−45
У	5	+35	−5
УХЛ	4	+35	+1
Т	4	+45	+1
О	4	+45	+1
ХЛ	1	+40	−60

Таблица 3.100. **Условия хранения и транспортирования**

Условия хранения и транспортирования	Обозначение группы условий хранения	Место хранения	Температура воздуха, °С	
			Верхнее значение	Нижнее значение
Легкая	Л	Отапливаемые и вентилируемые склады	+40	+1
Средняя	С	Закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственио регулируемых условий	+40	−50
Жесткая	Ж1	Открытые площадки в районах с умереиным и холодным климатом	+50	−50
Жесткая	Ж2	Навесы	+50	−50
Жесткая	Ж3	Закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых клнматических условий	+50	−50
Особо жесткая	ОЖ1	Открытые площадки	+60	−50
Особо жесткая	ОЖ2	Навесы	+50	−50
Особо жесткая	ОЖ3	Открытые площадки в районах с умеренным и холодным климатом	+50	−50
Особо жесткая	ОЖ4	Навесы	+50	−50

Таблица 3.101. **Группы условий эксплуатации**

Группа условий эксплуатации	Место размещения НКУ	Вибрационные нагрузки		Многократные удары	
		Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение q	Ускорение q	Длительность, мс
М1	Непосредственно на стенах	1—35	0,5	—	—
М3	В стационарных установках (шкафах, щитах, пультах и т. д.)	1—35	0,5	3	2—20
М4	То же	1—50	0,5	3	2—20
М7	В машинных залах с турбогенераторами	1—100	1	3	2—20

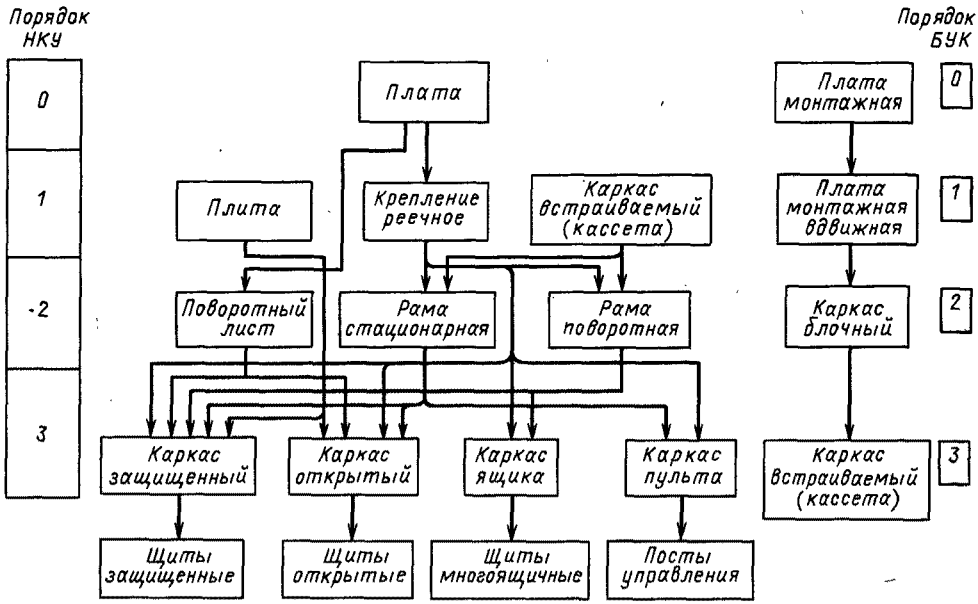


Рис. 3.20. Структурная схема входимости частей конструкции НКУ

рядковым номером группы мест размещений НКУ при эксплуатации. Наиболее употребительные группы эксплуатации для общепромышленных НКУ приведены в табл. 3.101.

Типовые конструкции НКУ. Составные части конструкции НКУ находятся в иерархической соподчиненности и группируются в отдельные порядки в зависимости от уровня входимости. Структурная схема входимости частей НКУ представлена на рис. 3.20.

Все конструкции разделены на четыре порядка:

0-го порядка — платы монтажные, предназначенные для установки и электрического объединения малогабаритных электро- и радиоэлементов;

1-го порядка — сборочные единицы и детали конструкций для крепления аппаратов, приборов, устройств и электрического монтажа, плиты изоляционные, металлические перфоплиты, крепления реечные, каркасы встраиваемые;

2-го порядка — сборочные единицы для крепления конструкции низшего порядка и установки отдельных аппаратов, приборов и устройств — поворотный лист, рама поворотная, рама стационарная;

3-го порядка — несущие конструкции шкафов, защищенных щитов, открытых щитов с основными размерами по ГОСТ 10985—80Е, ящиков с основными размерами по ОСТ 16.0684.116—74, пультов с основными размерами по ОСТ 16.0684.115—74.

В конструкцию 1-го порядка НКУ входят встраиваемые каркасы, входящие в свою очередь в блочную унифицированную конструкцию (БУК) по ОСТ 16.0.684.043—85. Составные части БУК находятся в своей иерархической соподчиненности и группируются в свои отдельные порядки в зависимости от уровня входимости.

3.32. ТИПОВЫЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА

НКУ разделяют на типовые и индивидуального исполнения по разовым заказам. Типовым НКУ присваивается условное обозначение по ОСТ 16.0.800.876—81.

Левая часть обозначения определяет серию НКУ по конструкции и назначению, а правая часть — типовой индекс, характеризующий исполнение по току, напряжению и климатическому исполнению.

Первая буква обозначения однозначно определяет НКУ по виду конструкции: Б — блок, кассета; П — панель; Ш — шкаф, щит защищенный; Щ — щит открытый; Я — ящик; С — пульт.

Цифровое обозначение до дефиса определяет функциональное назначение НКУ. Первые две цифры после дефиса определяют исполнение НКУ по току, вторые две цифры определяют исполнение НКУ по напряжению силовой цепи и цепи управления (Б5130-1874).

Последние знаки в обозначении типа определяют исполнение НКУ по климату по ГОСТ 15150—69 *.

Заказ типовых НКУ производится в соответствии с типовым обозначением.

ЯЩИКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СЕРИИ Я5000 (РАБОЧИЙ ПРОЕКТ ОЛХ 084.121—85)

Ящики серии Я5000 предназначены для управления асинхронными двигателями, работающими в продолжительном, кратковременном или повторно-кратковременном режимах в категории применения АС3 по ГОСТ 11206—77 *Е.

Ящики изготовляют для внутрисоюзных поставок и поставок на экспорт.

Климатическое исполнение — УХЛ4 и 04 по ГОСТ 15150—69 *. Охлаждение — естественное. Степень защиты — IP41 по ГОСТ 14254—80.

Номенклатура ящиков серии представлена в табл. 3.102.

Ящики различают по напряжению главной цепи, цепи управления, по наличию реверса, по количеству управляемых двигателей, по составу аппаратуры.

Номинальное напряжение силовой цепи 380, 400, 415 В частотой 50 Гц; 380, 440 В частотой 60 Гц.

Номинальное напряжение цепей управления 110, 220, 230, 240, 380 и 400 В частотой 50 Гц; 110, 220, 380 и 440 В частотой 60 Гц.

Таблица 3.102. **Номенклатура ящиков серии Я5000 по назначению**

Тип ящиков управления двигателем		Количество управляемых двигателей	Номинальный ток, А	Напряжение цепи управления	Аппараты на двери
нереверсивным	реверсивным				
Ящики с автоматическими выключателями на каждое присоединение					
Я5110, Я5111	Я5410, Я5411	1	0,6—160	Фазное	Кнопка и лампа; кнопка, лампа, переключатель
Я5112, Я5113	Я5412, Я5413			Независимое или линейное	Кнопка и лампа; кнопка, лампа, переключатель
Я5114, Я5115	Я5414, Я5415	2	0,6—40 (0,6—10)	Фазное	Кнопка и лампа; кнопка, лампа, переключатель
Ящики с одним автоматическим выключателем на два и три присоединения					
Я5124, Я5125	Я5424, Я5425	2	0,6—40 (0,6—10)	Фазное	Кнопка и лампа; кнопка, лампа, переключатель
Ящики без автоматического выключателя					
Я5130, Я5131	Я5430, Я5431	1	12,5—160	Фазное	Кнопка и лампа; кнопка, лампа, переключатель
Я5134, Я5135	Я5434, Я5435	2	0,6—25 (0,6—10)	Фазное	Кнопка и лампа; кнопка, лампа, переключатель
Ящики с промежуточным реле					
Я5141	Я5441	1	0,6—160	Фазное	Кнопка, лампа, переключатель
Ящики с блоками зажимов				Число зажимов	
Я5001	—	—	25	40	
Я5003			25	80	
Я5004			25	160	
Я5005			63	6	

Примечание. В скобках — данные для реверсивного исполнения.

Таблица 3.103. **Технические данные ящикои серии Я5000 исиолнения УХЛ4 для наиряжения силовой цепи 380 В и цепей управления фаза — иуль иеременного тока**

Тип ящика	Типовой индекс	Номинальный ток, А	Пределы регулирования тока уставки теплового реле КК1, А	Ток расцепителя выключателя QF, А	Размещаемые в ящике аппараты				Габариты ящиков *		
					Выключатель QF	Пускатель КМ1 (КМ2)	Реле КК1	Предохранитель $FU1$	Я5110, Я5111, Я5410, Я5411, Я5441	Я5114, Я5115, Я5414, Я5415	Я5130, Я5131, Я5430, Я5431
Я5110 Я5111 Я5114 Я5115 Я5141 Я5410 Я5411 Я5414 Я5415 Я5441	1874 2074 2274 2474 2674 2874 2974 3074	0,6 1 1,6 2,5 4 6 8 10	0,38—0,65 0,61—1 0,95—1,6 1,5—2,6 2,4—4 3,8—6 5,5—8 7,0—1	1,6 1,6 2 3,15 5 8 10 12,5	АЕ2026-10НУ3	ПМЛ1100 (ПМЛ1500) ПКЛ20, ПКЛ22**	РТЛ1000	—	300×250×180 (400×300×250)	400×300×250 (600×400×250)	—
Я5114	3174	12,5	9,5—14	16	АЕ2046М-10РУ3	ПМЛ2100 (ПМЛ2500) ПКЛ20 ПКЛ22**			400×300×250 (600×400×250)	600×400×250	300×250×180 (400×300×250)
Я5115 Я5110	3274 3474	16 25	13—19 18—25	20 31,5				ПРС-6П $I_{пл.вст}=6А$			
Я5111 Я5410	3574 3674	32 40	27,2—36,8 34—46	40 50		ПМА3202 (ПМА3602)				600×600×250	400×300×250 (600×400×250)
Я5411 Я5141	3774 3874	50 63	42,5—57,5 53,5—72,3	63 80	АЕ2056М-100У3	ПМА4200 (ПМЛ4604)			600×400×250		400×300×250 (600×600×250)
Я5441 Я5130 Я5430	3974 4074	80 100	68—92 85—115	100 125	АЕ2066-100У3	ПМА5202 (ПМА5602)			600×600×250 (900×600×360)	—	600×400×250 (600×600×360)
Я5131 Я5431	4174 4274	125 160	106—193 136—160	160 160		ПМА6202 (ПМА6602)					

* В скобках — данные для реверсивиого исполнения.
** Только для иеполнения с переключателями: Я5111, Я5411, Я5115, Я5415, Я5141, Я5441, Я5131, Я5431.

Таблица 3.104. **Коммутационная способность автоматических выключателей на напряжение 380 В**

Тип автоматического выключателя	Ток расцепителя, А	Предельная коммутационная способность, кА
АЕ2020	0,3—1,6 2—6 8—16	4 1 2
АЕ2040М	2—12,5 16—63	1,5 4,5
АЕ2050М	10—12,5 31,5—100	2,4 6
АЕ2060	50—100 125—160	9 11,5
АЕ3716Ф А3716Б	160	28 125
А3726Ф А3726Б	250	38 150
А3736Ф А3736Б	630 400	53 150
А3796Н	250 320—630	40 70

Технические данные ящиков серии Я5000 в исполнении для нужд народного хозяйства УХЛ4 на напряжение силовой цепи 380/220 В и цепей управления 220 В (фаза — нуль) приведены в табл. 3.103.

Защита силовой цепи от КЗ осуществляется автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями серии АЕ2000.

Предельная коммутационная способность выключателей приведена в табл. 3.104. Ток отсечки автоматических выключателей $12I_{\text{ном. уставки}}$.

Для ящиков исполнений Я5130—Я5135 и Я5430—Я5435 защитный аппарат устанавливается вне ящика, например в распределительном пункте.

Защита электродвигателя от перегрузки и работы с одной отключенной фазой осуществляется тепловым реле типов РТЛ или РТТ, цепей управления — предохранителями ПРС-6-П с плавкой вставкой на ток 6 А.

Защита цепей управления ящиков с номинальным током до 12,5 А осуществляется автоматическим выключателем главной цепи.

В качестве коммутационной аппаратуры применены пускатели ПМЛ, ПМА исполнений В по коммутационной износостойкости. Коммутационная износостойкость пускателей для различных токов нагрузки приведена в табл. 3.105.

В ящиках с аппаратом выбора режима работы применены универсальные переключатели ПКУ3—14С—2001, в ящиках Я5141, Я5441 — промежуточные реле РП21-003-УХЛ46.

В ящиках серии Я5000 применены блоки зажимов серии Б324 с номинальным током 16 А и предельным током не более 930 А.

Число подсоединяемых проводов под один зажим — один или два провода независимо от материала жилы (медь, алюминий, алюмомедь) сечением 0,5—2,5 мм^2 или один провод сечением 4 мм^2.

Принципиальные схемы силовых цепей и цепи защиты ящиков даны на рис. 3.21, прин-

Таблица 3.105. **Коммутационная износостойкость пускателей исполнений В**

Тип пускателя	Номинальный ток, А	Ток нагрузки, А	Коммутационная износостойкость, млн. срабатываний
ПМЛ1000	10	0,6 1 1,6 2,5 4 6 8 9 10	8 8 4,6 2,4 1,2 0,66 0,42 0,36 0,3
ПМЛ2000	25	10 12,5 16 22 25	1,2 0,84 0,6 0,36 0,3
ПМА3000	40	25 32 40	1 0,7 0,5
ПМА4000	63	40 50 63	1 0,7 0,5
ПМА5000	100	63 80 100	1 0,7 0,5
ПМА6000	160	100 125 160	1 0,7 0,5

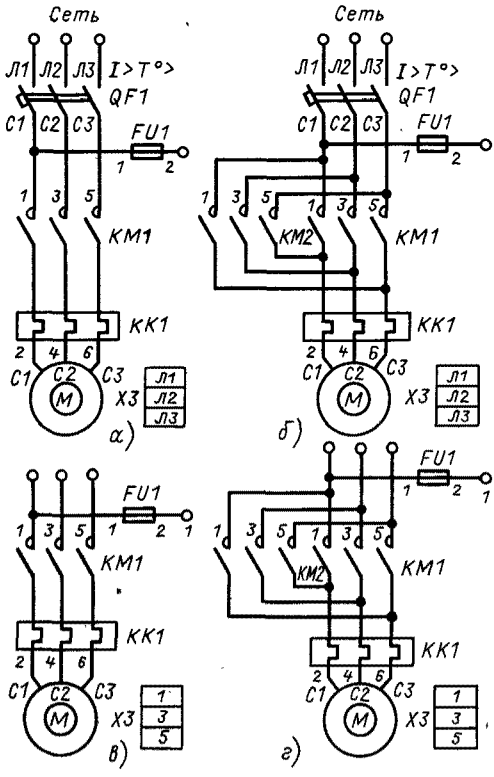


Рис. 3.21. Принципиальные схемы силовых цепей и цепей защиты:
а — ящиков управления Я5100, Я5111, Я5141; *б* — ящиков управления Я5410, Я5411, Я5441; *в* — ящиков управления Я5130, Я5131; *г* — ящиков управления Я5430, Я5431

ципиальная схема управления — на рис. 3.22 и 3.23.

Ящики могут иметь силовую цепь, выполненную цепочкой (шлейфом):

для ящиков с номинальными токами до 10 А суммарный ток цепочки не должен превышать 16 А;

для ящиков с номинальными токами 12,5, 16А—40 А;

для ящиков с номинальными токами 25А—63 А;

для обеспечения питания в цепочку для ящиков на номинальный ток 12,5—25 А устанавливается силовой блок зажимов на 63 А;

для исполнений ящиков до 10 А питание в цепочку осуществляется через верхние зажимы автоматических выключателей.

Для возможности питания в цепочку у ящиков без автоматических выключателей предусмотрен вывод верхних контактных зажимов пускателя на силовые зажимы. Практически это выполнено следующим образом: в ящиках на ток до 10 А — на общий блок зажимов БЗ24 (на ток 25 А), в ящиках на ток до 40 А — на отдельный силовой зажим ЗН-24 (на ток 63 А).

Габариты ящиков приведены в табл. 3.107.

Ящики предназначены для установки на стене, колонне или другом вертикальном основании. Ушки для подвешивания ящиков на месте монтажа выполнены универсально, т. е. могут находиться в вертикальном или в горизонтальном положении.

Установочные размеры ящиков приведены на рис. 3.24.

Надписи к аппаратам на двери ящика (кнопкам, ключам, лампам) выполнены заводом-изготовителем. Для надписи назначения ящика завод-изготовитель устанавливает пустую рамку в верхней части двери ящика. Текст надписи составляется и вкладывается в рамку на монтаже.

Для ввода внешних проводников предусмотрены универсальные устройства на днище и крыше ящика (по три отверстия, каждое из которых закрыто резиновым уплотнением), рассчитанные на ввод проводников любым способом (в трубе или кабелями).

Все технические параметры ящиков определены типовым обозначением. Типовое обозначение двухлинейных ящиков составляется из двух типовых индексов. При этом должны выполняться общие для всех двухлинейных ящиков два условия:

1) обе линии одного ящика должны выбираться на одно напряжение цепей управления;

2) если управляемые двигатели разные, то первый индекс следует выбирать на меньший ток. Во втором индексе указываются два знака, отражающие исполнение по току.

Примеры обозначения ящиков:

1. Я5110-2874 УХЛ4 — номинальный ток 6 А.

2. Я5114-2874 УХЛ4-28 — номинальный ток двигателей 6 А.

3. Я5411-2874 УХЛ4-32 — номинальные токи двух разных двигателей 6 и 16 А.

Ящики с блоками зажимов заказываются с полным типовым индексом, например Я5003-34АФ УХЛ4.

ЯЩИКИ СЕРИИ РУСМ5000

Ящики предназначены для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором, работающими в продолжительном кратковременном или повторно-кратковременном режиме в категории применения АС3 по ГОСТ 11206—77 *Е.

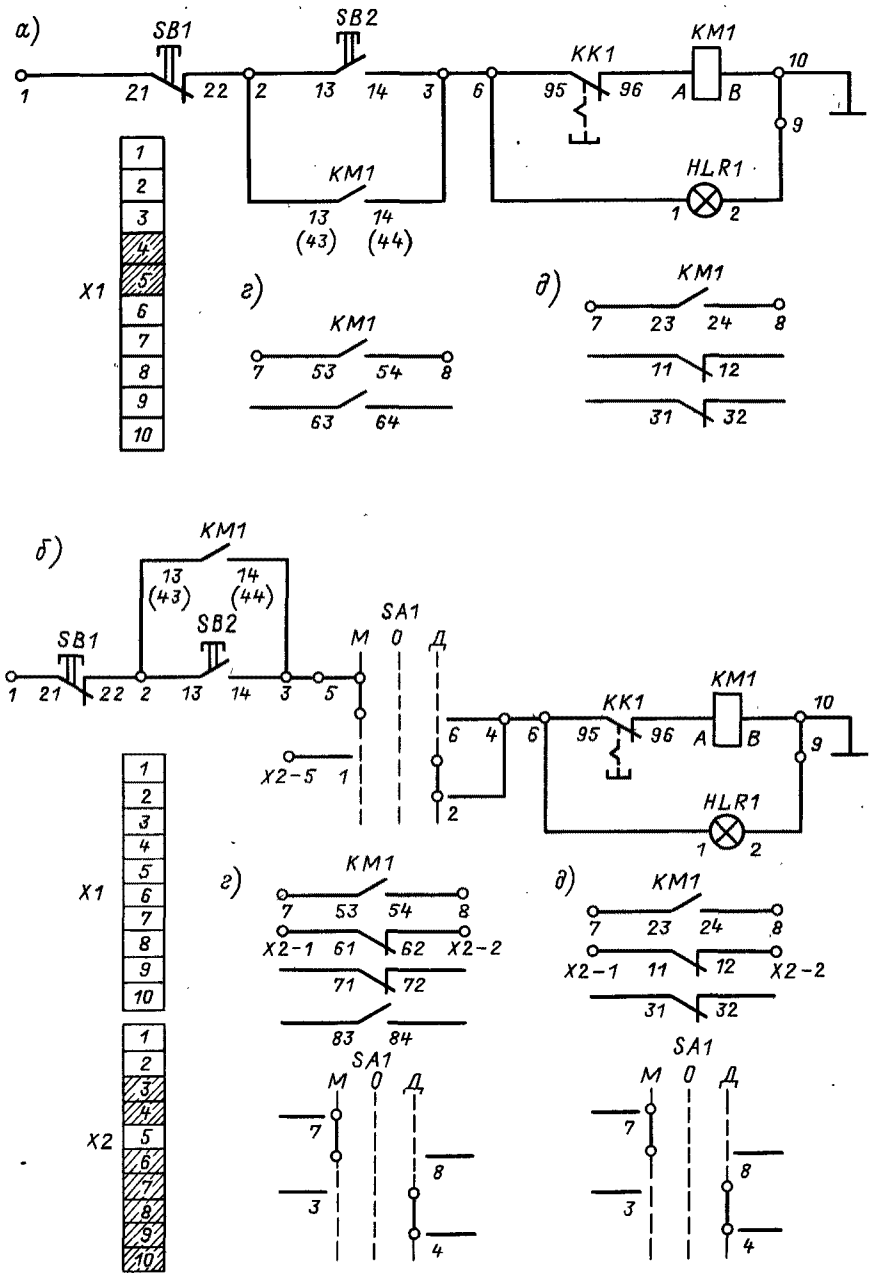
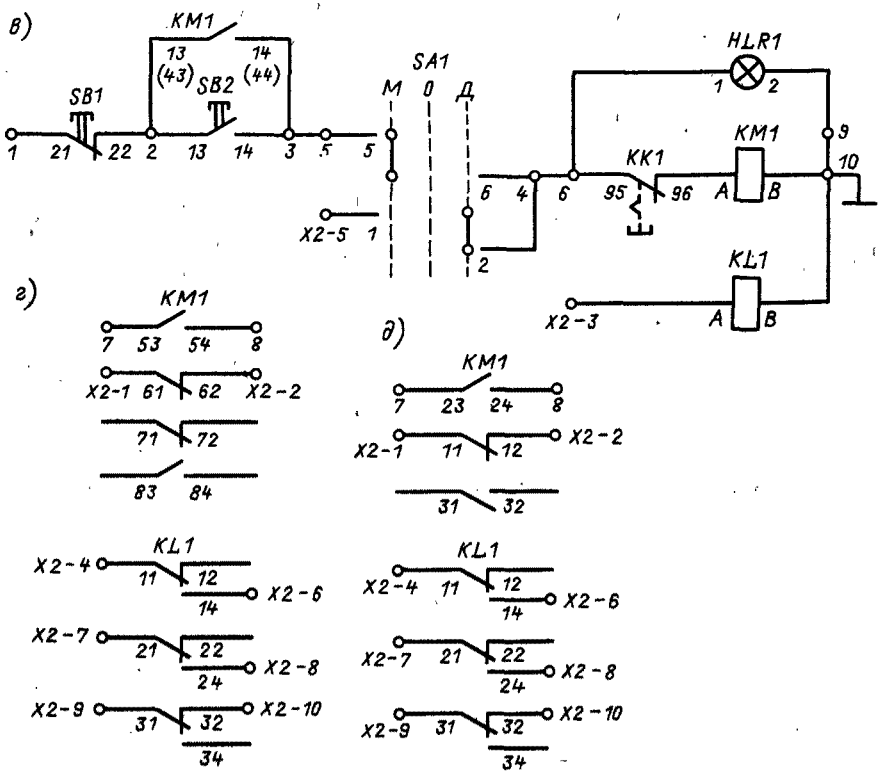


Рис. 3.22. Принципиальные схемы цепей управления:
а — ящиков Я5110, Я5130; *б* — ящиков Я5111, Я5131; *в* — ящиков Я5141; *г* — свободные контакты исполнений 3574—4274; *д* — свободные контакты исполнений 3574—4274



Продолжение рис. 3.22

Ящики предназначены для внутрисоюзных поставок и на экспорт.

Климатическое исполнение ящиков по ГОСТ 14254—80—У1, У5, ХЛ1, ХЛ5, Т1, Т5; степень защиты — IP54.

Характеристика ящиков управления по назначению представлена в табл. 3.106.

Ящики различаются по наличию реверса, по количеству линий, по способу питания цепи управления, по составу встраиваемой аппаратуры. Номинальное напряжение силовой цепи 380, 400, 415 В, 50 Гц и 380, 440 В, 60 Гц. Номинальное напряжение цепей управления 110, 220, 230, 240 В, 50 Гц и 220 В, 60 Гц. Номинальный ток силовой цепи РУСМ — не более 630 А. Силовые сборные шины щитов РУСМ выдерживают ударный ток короткого замыкания до 25 кА.

Принципиальные схемы ящиков управления РУСМ5000 аналогичны принципиальным схемам ящиков серии Я5000.

Габариты ящиков приведены в табл. 3.107.

Ящики поставляют в виде отдельных изделий или собранных в сборки щитов по схеме заказчика со сборными шинами или без них. Сборные шины на токи 160 и 250 А должны размещаться в ящиках размером 250×250×250 или 250×500×250 мм (размер 500 мм — по горизонтали); на токи 400 и 630 А — в ящиках 500×500×250 мм.

Сборки из двух или трех ящиков без межъящичных соединений могут заказываться без задания на изготовление. В этом случае при заказе сборок необходимо указать типы ящиков и оговорить, как их собирать — по вертикали или по горизонтали.

Ящики и шкафы переключения на резерв серии ЯУ8200, ЯУ8300, ШУ8200 (рабочий проект ОЛХ 084.125)

Ящики и шкафы для автоматического переключения на резерв при исчезновении напряжения нормального питания предназначены для применения в сетях постоянного и переменного тока с напряжением до 220 В для внутрисоюзных поставок и 220, 230, 240 В, 50 Гц и 220 В, 60 Гц для поставок в страны с умеренным и тропическим климатом. Переключение потребителей на нормальное питание осуществляется автоматически при восстанов-

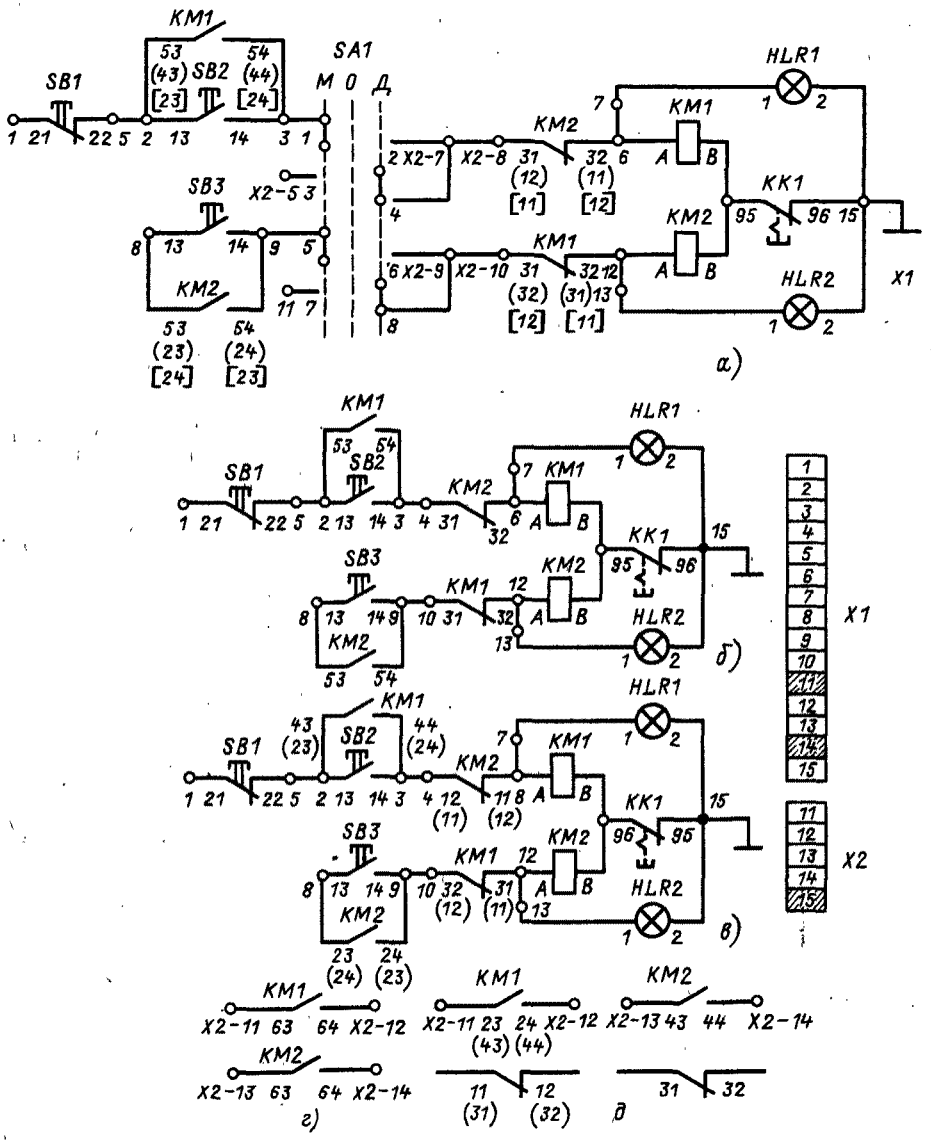


Рис. 3.23. Принципиальные схемы цепей управления:
а — ящиков Я5411, Я5431; *б* — ящиков Я5410, Я5430 исполнений 1874—3474; *в* — ящиков Я5410, Я5430 исполнений 3574—4274; *г* — свободные контакты для исполнений 1874—3474; *д* — свободные контакты для исполнений 3574—4274

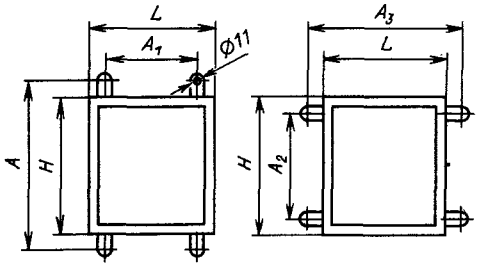


Рис. 3.24. Установочные размеры ящиков управления (см. табл.)

Габариты			Установочные размеры			
			Вертикальное расположение ушек		Горизонтальное расположение ушек	
Высота H	Ширина L	Глубина B*	A	A_1	A_2	A_3
300	250	180	350	210	260	300
400	300	250	450	260	360	350
600	400	250	630	300	500	430
600	600	250/360	630	500	500	630
900	600	360	930	500	800	630

* На рисунке не показана.

Таблица 3.106. **Номенклатура ящиков серии РУСМ5000 по назначению**

Тип ящика управления двигателем		Число управляемых двигателей	Номинальный ток, А	Напряжение цепи управления	Аппараты на двери
нереверсивным	реверсивным				
Ящики с автоматическими выключателями на каждую линию					
РУСМ5110	РУСМ5410	1	0,6—160	Фазное	Кнопка и лампа
РУСМ5111	РУСМ5411				Кнопка, лампа, переключатель
РУСМ5112	РУСМ5412			Независимое или линейное	Кнопка и лампа
РУСМ5113	РУСМ5413				Кнопка, лампа, переключатель
РУСМ5114	РУСМ5414	2	0,6—40 (0,6—10)	Фазное	Кнопка и лампа
РУСМ5115	РУСМ5415				Кнопка, лампа, переключатель
Ящики с одним автоматическим выключателем на два фидера					
РУСМ5124	РУСМ5424	2	0,6—40 (0,6—10)	Фазное	Кнопка и лампа
РУСМ5125	РУСМ5425				Кнопка, лампа, переключатель
Ящики без автоматического выключателя					
РУСМ5130	РУСМ5430	1	12,5—160	Фазное	Кнопка и лампа
РУСМ5131	РУСМ5431				Кнопка, лампа, переключатель

Продолжение табл. 3.106

Тип ящика управления двигателем		Число управляемых двигателей	Номинальный ток, А	Напряжение цепи управления	Аппараты на двери
нереверсивным	реверсивным				
РУСМ5134	РУСМ5434	2	0,6—25 (0,6—10)	Фазное	Кнопка и лампа
РУСМ5135	РУСМ5435				Кнопка, лампа, переключатель
Ящики с промежуточным реле					
РУСМ5141	РУСМ5441	1	0,6—160	Фазное	Кнопка, лампа, переключатель

Таблица 3.107. **Габариты ящиков РУСМ5000**

Тип металлоконструкции	Габариты ящика, мм	Полезная зона установки аппаратуры, мм
Я1	250×250×250	160×160
Я2-1	500×250×250	160×410
Я2-2	250×500×250	410×160
Я3	500×500×250	410×410
Я4-1	750×500×250	660×410
Я4-2	500×750×250	410×660
Я4-3	500×750×360	410×660

лении напряжения нормального питания.

Технические данные комплектных устройств даны в разд. 4.

3.33. НКУ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

В НКУ могут устанавливаться контактные и бесконтактные аппараты, приборы и устройства (преобразовательные, вычислительной и микропроцессорной техники). Документация НКУ, по которой заводом изготовляется изделие, полностью соответствует документации потребителя (организации разработчика) этих НКУ в отношении: обозначения или условного наименования; состава аппаратов, приборов устройств; схем электрических соединений, а также габаритов, маркировки, расположения блоков зажимов.

НКУ изготовляют для нужд народного хозяйства и на экспорт с умеренным климатом в исполнении УХЛ4, в страны с тропическим климатом 04 по ГОСТ 15150—69 *. При этом нижнее значение предельной рабочей температуры воздуха в исполнении УХЛ4 не должно превышать минус 5 °С. НКУ изготовляют для эксплуатации в атмосфере типа П, соответствующей ГОСТ 15150—69 *, в окружающей среде невзрывоопасной, не содержащей токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металл и изоляцию.

В состав НКУ могут входить открытые щиты, щиты защищенные, шкафы, пульты, ящики, стеллажи.

Номинальный ток силовой цепи НКУ должен быть не более 2500 А. В панелях открытых щитов, питаемых от автономных источников, номинальный ток — до 6300 А.

Номинальный ток сборных шин в открытых щитах должен быть не более 2500 А, а в защищенных щитах и шкафах — не более 1000 А.

Силовые сборные шины, соединения с шинами, опоры для шин выдерживают номинальный ударный ток короткого замыкания, выбираемый заказчиком из ряда: 16, 25, 40, 50 кА — для открытых щитов, 6,3, 10, 16, 25, 30 кА — для защищенных щитов.

Номинальное напряжение силовой цепи: 24—660 В переменного тока; 24—440 В постоянного тока.

Номинальное напряжение цепей управления: 24—380 В переменного тока; 5—440 В постоянного тока.

Открытые щиты изготовляют на базе двух исполнений каркасов: глубиной 600 м — для щитов одностороннего обслуживания, однорядных и для диспетчерских щитов двухстороннего обслуживания; глубиной 800 мм — для щитов двухстороннего обслуживания однорядных, одностороннего обслуживания двухрядных и комбинированных. Высота открытых щитов 2200 мм. Ширину панелей открытого щита выбирают из ряда 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1100 мм.

Защищенные щиты изготовляют по глу-

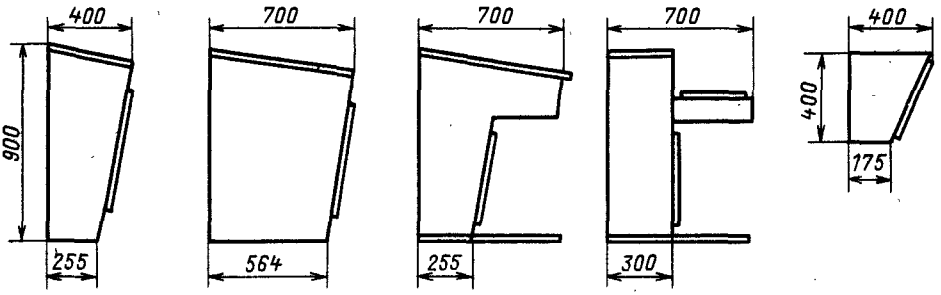


Рис. 3.25. Габариты пультов по ОСТ16.0684—043—85

Тип пульта	Исполненне	Длина, мм	Колнчество зажнмов	Условня работы
1	1 2 3 4	400 600 800 1000	40 60 90 100	Стоя
2	1 2 3	600 800 1000	90 150 165	Стоя
3	1 2 3 4	400 600 800 1000	40 60 90 100	Сидя
4	1 2 3 4	400 600 800 1000	40 60 90 100	Сидя, стоя
5	1 2	400 600	15 30	Навесной пульт

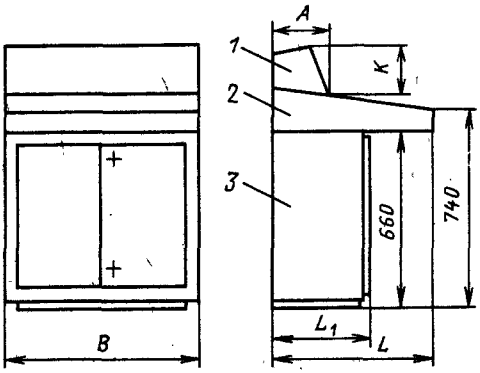


Рис. 3.26. Габариты модульных пультов:
1 — кожух приборный; *2* — столешнпца; *3* — тумба

B, мм	400, 800
L, L_1, мм	700, 1000
A, мм	250
K, мм	175, 250

Таблица 3.108. **Перечень нормализованных серий НКУ**

Наименование	Тип	Действующий рабочий проект
Блоки управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором (общепромышленная серия с передним монтажом)	Б5100 Б5400	ОЛХ.084.214—85
Блоки управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором с задним монтажом	БУ5141 БУ5142 БУ5149 БУ5150	ОЛХ.084.098
Блоки и панели управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым и фазным ротором (металлургическая серия с задним монтажом)	БДУ5000 ПДУ5000 БДУ6000 ПДУ6000	ОЛХ.084.164
Панели ввода на ток выше 600 А с задним монтажом	ПУ8201 ПУ8202 ПУ8301 ПУ8302	ОЛХ.084.020
Шкафы ввода на ток выше 600 А с задним монтажом	ШУ8201 ШУ8202	ОЛХ.084.095
Панели ввода с АВР на ток выше 600 А с задним монтажом	ПУ8215 ПУ8217	ОЛХ.084.094
Панели ввода с АВР на ток до 600 А с задним монтажом	ПУ8211 ПУ8214	ОЛХ.084.074
Блоки и панели АВР с задним монтажом	БУ (ПУ) 8251 БУ (ПУ) 8254 ПУ8256 БУ8351, БУ8353	ОЛХ.084.031
Блоки и панели сигнализации с задним монтажом	БН9401, БН9406, ПН9401, ПН9404	ОЛХ.084.006 (вторая редакция)
Блоки вспомогательные с задним монтажом	БУ9545 БУ9549	ОЛХ.084.022 (третья редакция частично)
Блоки управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором на напряжение 660/380 В	Б5060 П5060	ОЛХ.084.216—83

бине 800, 600 мм, а одиночные шкафы — 800, 600, 400 мм. Высота защищенных щитов и шкафов 2200, 1800 мм.

Шкафы защищенного щита изготовляют по заказу с шириной в любом сочетании из ряда 600, 700, 800, 1000, 1200 мм. Максимальный размер секции щита по ширине 4000 мм.

Пульты управления электроприводами изготовляют пяти конструктивных исполнений, представленных на рис. 3.25 (по ОСТ 16.0.684.115—74).

Начинает внедряться новая серия пультов из модульных объемов — тумб, столешниц, кожухов (рис. 3.26). Новая конструкция пультов позволяет устанавливать в тумбы кассету микропроцессорного контроллера, в кожух — со-

временные средства ввода и вывода цифровой и дискретной информации.

Аппаратная база НКУ индивидуального исполнения ограничена наиболее распространенными аппаратами массового применения в «Номенклатуре электрических аппаратов и приборов, применяемых в НКУ управления электроприводами» (ОЛХ 195.004—85).

Кроме аппаратов и приборов номенклатура предусматривает установку тиристорных и комплектных электроприборов в НКУ — тиристорных станций управления типа ТСУ-2, тиристорных электроприборов ЭПУ1, ЭПУ2, ЭПБ.

В НКУ индивидуального исполнения могут устанавливаться как отдельные аппараты и приборы, так и нормализованные типовые серии блоков и панелей НКУ. Перечень действующих нормализованных серий НКУ приведен в табл. 3.108.

НОРМАЛИЗОВАННАЯ СЕРИЯ БЛОКОВ И ПАНЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ТИПОВ Б5030, П5030 (РАБОЧИЙ ПРОЕКТ ОЛХ 084.214—86)

Блоки и панели серии Б5000, П5000 предназначены для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором в следующих режимах:

продолжительном режиме работы в категории применения АС3 по ГОСТ 11206—77 *Е (пуск и отключение вращающегося двигателя);

кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы, но также в категории применения АС3.

Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150—69 *: для нужд народного хозяйства — УХЛ4; для поставок на экспорт в страны с умеренным климатом — УХЛ4; для поставок на экспорт в страны с тропическим климатом — 04.

Классификационная структура серии дана на рис. 3.27.

Изделия серии различают по: наличию реверса; способу питания цепей управления, а также назначению (принципиальной схеме).

Блоки и панели рассчитаны на управление двигателями с номинальным током статора:

0,6—630 А для нереверсивных двигателей;

0,6—400 А для реверсивных двигателей;

0,6—16 А для управления двигателями без тепловой защиты.

Номинальное напряжение силовой цепи 380, 400, 415 В, 50 Гц; 380, 440 В, 60 Гц.

Номинальное напряжение цепей управления 110, 220, 230, 240, 380, 400 В, 50 Гц; 110, 220, 380, 440 В, 60 Гц.

Технические данные блоков Б5000 в исполнении УХЛ4 на напряжение силовой цепи 380/220 В и цепей управления 220 В приведены в табл. 3.109.

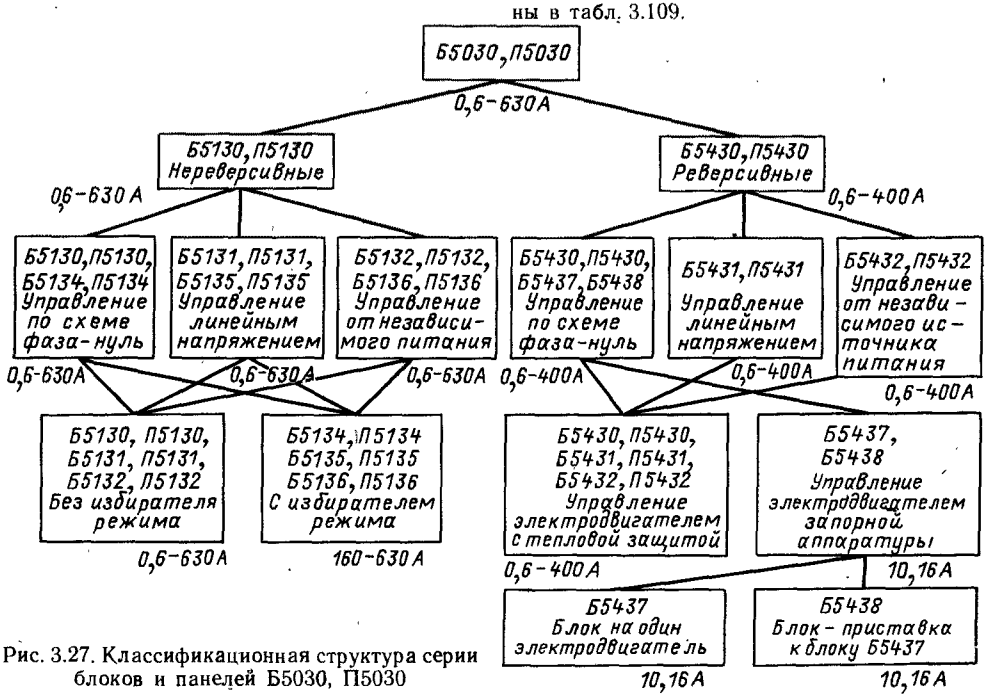


Рис. 3.27. Классификационная структура серии блоков и панелей Б5030, П5030

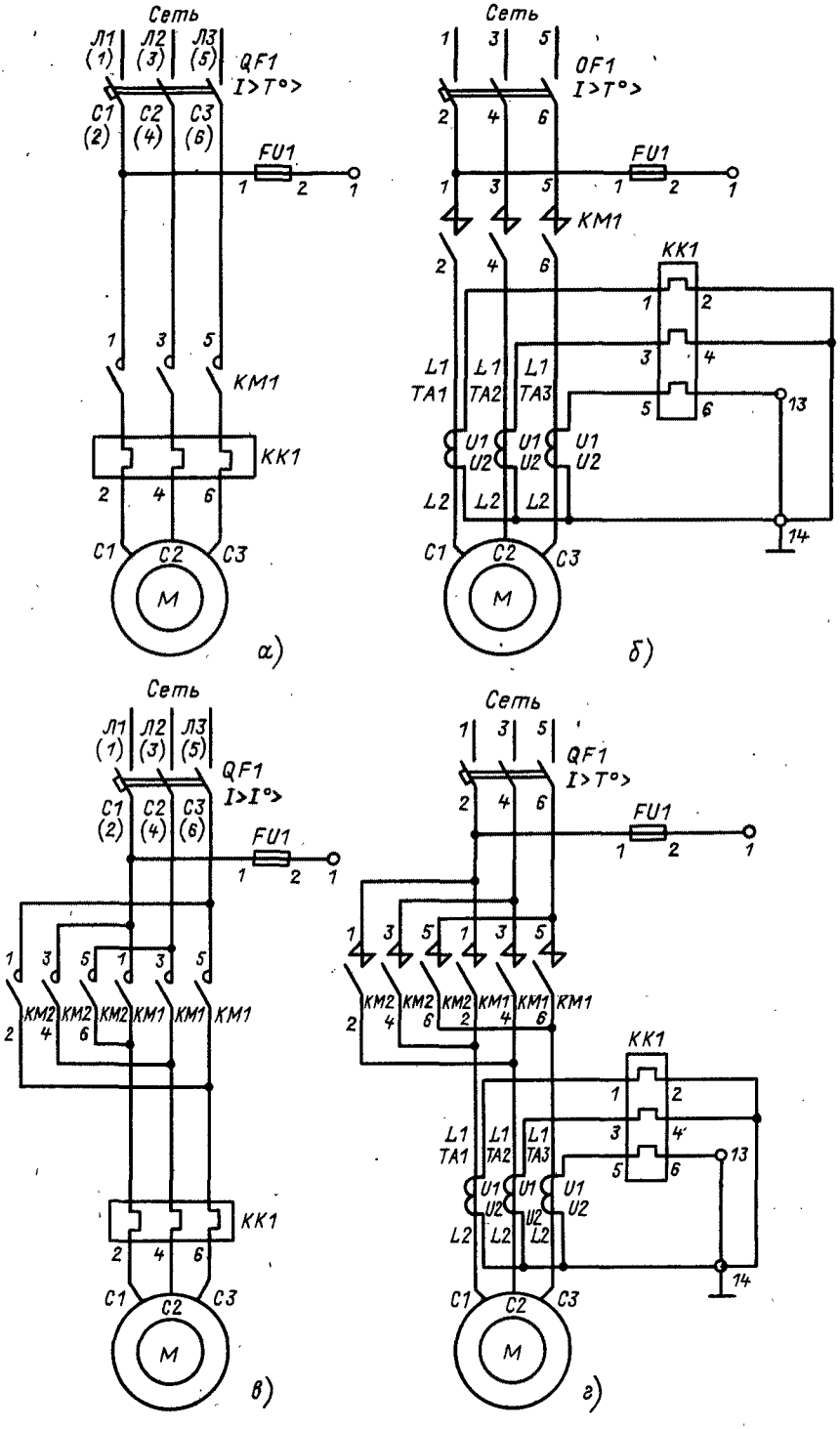
Таблица 3.109. **Технические данные блоков и панелей серии Б5030 в исполнении силовой цепи на напряжение 380 В, цепей управления на напряжение 220 В (фаза — нуль), УХЛ4 (рис. 3.28)**

Тип блоков и панелей	Цифровое обозначение типа	Номинальный ток, А	Уставки, А		Размещаемые в блоках и панелях аппараты						Габариты,* мм
			КК1	*QF*1	Выключатель *QF*1	Пускатель КМ1 (КМ2)	Реле КК1	Предохранитель *FU*1	Трансформатор ТА	Переключатель *SA*1	
Б5130, Б5430	1874Г, 1874 2074Г, 2074 2274Г, 2274 2474Г, 2474 2674Г, 2674 2874Г, 2874 2974Г, 2974 3074Г, 3074	0,6 1 1,6 2,5 4 6 8 10	0,38—0,65 0,61—1 0,95—1,6 1,5—2,6 2,4—4 3,8—6 5,5—8 7,0—10	1,6 1,6 2 3,15 5 8 10 12,5	АЕ2026-10НУ3-Б	ПМЛ1100, 0,4 В (ПМЛ1500, 0,4 В) ПКЛ20, ПКЛ22	РТЛ100	—	—	—	250×145×125 (250×195×125)
	3174Г, 3174 3274Г, 3274 3474Г, 3474	12,5 16 25	9,5—14 13—19 18—25	16 20 31,5	АЕ2046М-10РУ3-Б	ПМЛ2100, 0,4 В (ПМЛ250, 0,4 В) ПКЛ20, ПКЛ22		ППТ-10	—	—	300×195×140 (300×245×140)
	3574 3674	32 40	27,2—36,8 34—46	40 50	АЕ2056М-100У3-Б	ПМА3202-(ПМА3602)-УХЛ4В					300×295×135 (300×395×135)
	3774	50	42,5—57,5	63		ПМА4200-(ПМА4604)-УХЛ4					300×345×155 (300×455×155)
	3874 3974 4074	63 80 100	53,5—72,3 68—92 85—115	80 100 125	АЕ2066-100У3-Б	ПМА5202-(ПМА5602)-УХЛ4В					300×445×180 (650×295×180)
Б5130, Б5430	4174	125	106—143	160	А3716Ф $I_{уст}$=1600 А	ПМА6202 (ПМА6602)-УХЛ4В		ППТ-10	—	—	650×345×210 (650×495×210)
Б5130	4274 4374	160 200	144—200 144—240	200 250	А3726Ф	КТ6033С		ПРС-25-П	ТК-20 300/5	ПКУ3-16С (только для Б5134, П5134)	1125×500×250 (2100×500×250)

Продолжение табл. 3.109

Тип блоков и панелей	Цифровое обозначение типа	Номинальный ток, А	Уставки, А		Размещаемые в блоках и панелях аппараты						Габариты*, мм
			КК1	*QF*1	Выключатель *QF*1	Пускатель КМ1 (КМ2)	Реле КК1	Предохранитель *FU*1	Трансформатор ТА	Переключатель *SA*1	
Б5134	4474	250	228—320	320	А37368	КТ6034С	РТЛ1000+КРЛ104	ПРС-25-П	ТК-20 400/5	ПКУ3-16С (только для Б5134, П5134)	1375×600×320 (2100×600×320)
П5430	4574	320	304—400	400							
	4674	400	304—480	500							
Б5130, Б5134	4874	630	384—630	630		КТ6053С			ТК-20 800/5		2100×700×330
Б5437, Б5438	3074Г, 3074	10	—	10	АЕ2026-10НУ3-Б (только для Б5437)	ПМЛ1501; 0,4 В ПКЛ20, ПКЛ22		—	—	—	(250×195×125)
	3274Г, 3274	16	—	16		ПМЛ2501; 0,4 В ПКЛ20, ПКЛ22					(250×245×140) (250×195×140) **

* В скобках — для реверсивного исполнения.
** Размер для блока Б5438.


Сеть
Л1 (1)
Л2 (3)
Л3 (5)
QF1
I>T°>
C1 (2)
C2 (4)
C3 (6)
FU1
KM1
KK1
M
а)
б)
в)
г)
I>I°>
OF1
KM2
TA1
TA2
TA3
L1
L2
U1
U2
13
14

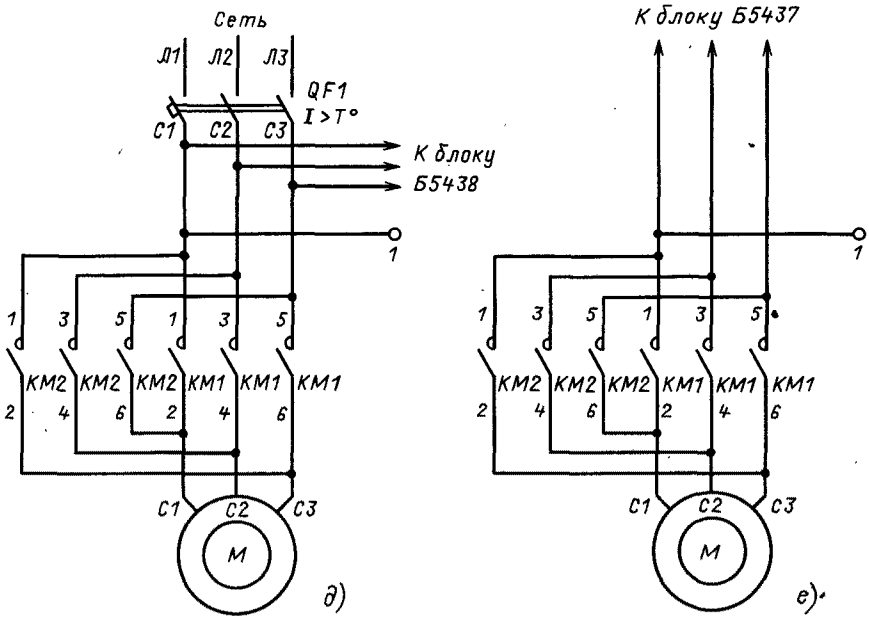


Рис. 3.28. Принципиальные схемы силовых цепей и цепей защиты:
а — блоков Б5130, Б5134 и панелей П5130, П5134 исполнений 1874—4174; *б* — блоков Б5130, Б5134 и панелей П5130, П5134 исполнений 4274, 4874; *в* — блоков Б5430, панелей П5430 исполнений 1874—4174; *г* — блоков Б5430, панелей П5430 исполнений 4274—4874; *д* — блоков Б5437; *е* — блоков Б5438

Защита силовой цепи от коротких замыканий осуществляется автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями АЕ2026, АЕ2046М, АЕ2056М, АЕ2066, А3700. Предельная коммутационная способность выключателей приведена в табл. 3.104.

Защита двигателя от перегрузки и работы на двух фазах осуществляется тепловыми реле РТЛ, РТТ.

Защита цепей управления осуществляется предохранителями типа ППТ-10 с плавкой вставкой 6 А в блоках на ток до 125 А, типа ПРС-25-П с плавкой вставкой 16 А в блоках и панелях с номинальным током выше 125 А.

Защита цепи управления в блоках с номинальным током до 10 А осуществляется автоматическим выключателем главной цепи.

В качестве коммутационной аппаратуры в серии применены контакторы КТ 6000С, пускатели серии ПМЛ, ПМА исполнений В по коммутационной износостойкости.

Коммутационная износостойкость пускателей для различных токов нагрузки представлена в табл. 3.105.

В блоках и панелях типов Б(П)5134, Б(П)5135, Б(П)5136 применены универсальные переключатели типа ПКУ-16С2001.

В серии применены блоки зажимов управления серии Б324:

Технические параметры блока зажимов

Номинальный ток . . .	16 А
Исполнение выводов . .	Винт/винт
Сечение подсоединяемых проводов под один зажим	Один или два провода независимо от материала жилы (медь, алюминий, алюмомедь) сечением 0,5—2,5 мм^2 или один провод сечением 4 мм^2
Предельный ток . . .	Не более 930 А

Блоки и панели изготовляют со степенью защиты IP00 по ГОСТ 14254—80 с односторонним обслуживанием.

В блоках с пускателями аппаратура устанавливается на металлических пластинах и плитах.

В панелях и блоках с контакторами аппаратура установлена непосредственно на рейках С-образного профиля. Габариты блоков

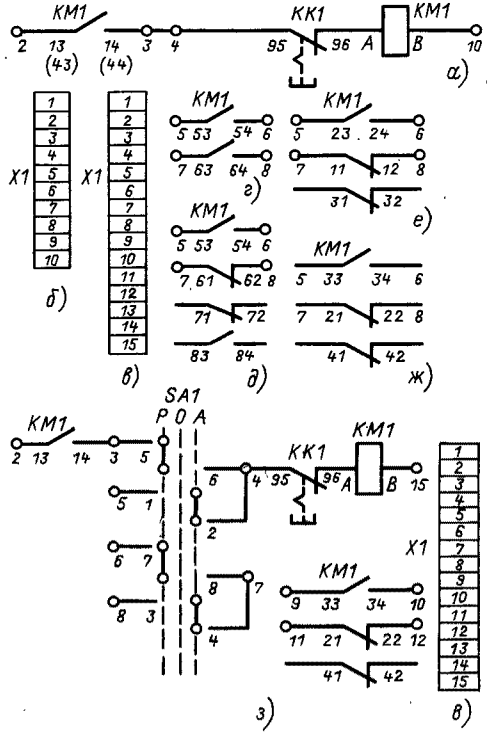


Рис. 3.29. Принципиальные схемы цепей управления:
а — блоков Б5130 и панелей П5130; *б* — блок зажимов для исполнений 1874Г—3474Г, 1874—4174; *в* — блок зажимов для исполнений 4274—4874; *г, д, е, ж* — свободные контакты для блоков и панелей исполнений 1874Г—3474Г, 1874—3474, 3574—4174 и 4274—4874 соответственно; *з* — блоков Б5134 и панелей П5134

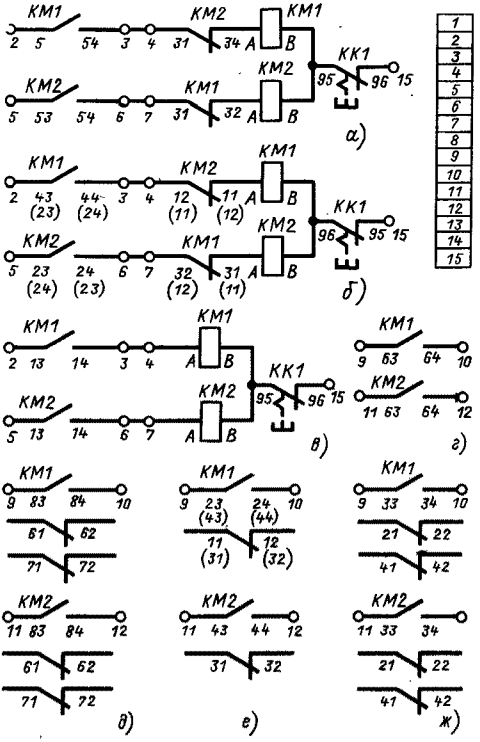


Рис. 3.30. Принципиальные схемы цепей управления блоков Б5430 и панелей П5430:
а, б, в — блоков и панелей исполнений 1874—3474, 3574—4174, 4274—4674 соответственно; *г, д, е, ж* — свободные контакты для блоков и панелей исполнений 1874Г—3474Г, 1874—3474, 3574—4174, 4274—4674 соответственно

и панелей приведены в табл. 3.104. На каждом блоке или панели установлен один блок зажимов XI. Блок зажимов имеет порядковую маркировку зажимов 1—10 или 1—15. Маркировка зажимов блока XI соответствует маркировке по принципиальной схеме зажимов цепи, выведенных на данный блок.

Схема расположения блока управления XI:

для блоков на ток 0,6—125 А — горизонтальная снизу;

для блоков и панелей на ток 160—630 А — вертикальная слева, в середине блока — по его высоте.

Число зажимов в блоке XI:

для нереверсивных блоков 06—125 А—10;

для остальных блоков и панелей — 15.

Принципиальные схемы силовых цепей и цепей защиты блоков и панелей серии даны на рис. 3.28.

Принципиальные схемы силовых цепей и цепей защиты блоков приведены на рис. 3.29, 3.30.

3.34. БЕСКОНТАКТНЫЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА (БНКУ) ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

БНКУ предназначены для выполнения логических функций управления в схемах промышленной автоматики.

БНКУ обеспечивают размещение и электрический монтаж аппаратуры с габаритами и установочными размерами, в том числе программируемых контроллеров типов УЛП, Б9601, блоков с элементами серии «Логики-И», контактных зажимов и разъемов для внешних подсоединений, аппаратов индикации и управления.

БНКУ изготовляют в виде одиночных шкафов со степенью защиты IP20 и IP31 по

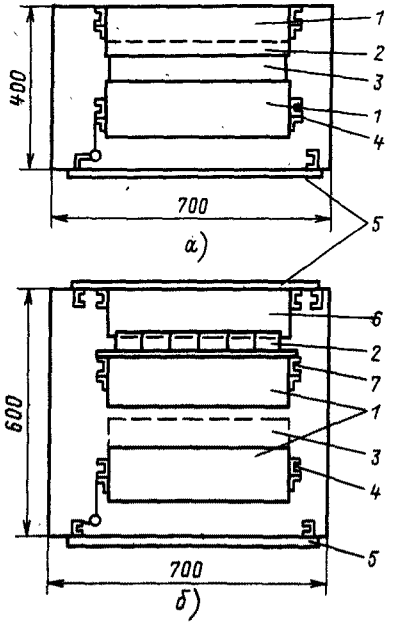


Рис. 3.31. Размещение блоков логики и кассет в БНКУ:
а — одностороннего обслуживания; *б* — двухстороннего обслуживания; *1* — блок логики; *2* — контактные зажимы; *3* — кассета БУК—б; *4* — поворотная рама; *5* — дверь; *6* — дверной блок; *7* — стационарная рама

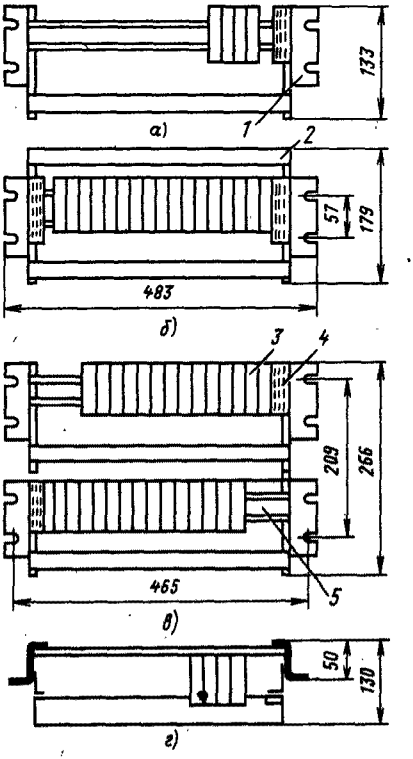


Рис. 3.32. Габариты блоков логики:
а — однорядного блока с одним монтажным коробом; *б* — однорядного блока с двумя монтажными коробами; *в* — двухрядного блока с двумя монтажными коробами; *1* — каркас; *2* — короб; *3* — элемент логики; *4* — разъем; *5* — рейка

ГОСТ 14254—80. Климатическое исполнение УХЛ4 и 04 по ГОСТ 15543—70 * и ГОСТ 15150—69 *, при этом верхнее значение рабочей и предельной температуры окружающего воздуха при эксплуатации БНКУ соответственно +40 и +45 °С для исполнения 04.

БНКУ соответствует группе условий эксплуатации М1 по ГОСТ 17516—72 *. Шкафы изготовляют в двух исполнениях — одностороннего обслуживания с габаритами 2000××700×400, двустороннего обслуживания с габаритами 2000×700×800 мм.

Максимальная допустимая мощность, выделяемая аппаратурой в комплектном устройстве в исполнении IP20, составляет: в шкафах одностороннего обслуживания для исполнений УХЛ4 и 04 — соответственно 400 и 120 Вт, а в шкафах двухстороннего обслуживания — соответственно 600 и 280 Вт.

Аппаратура, объединенная электрической схемой в соответствии с техническим заданием заказчика, размещается в блоках или кассетах, устанавливаемых на рамах, встроенных в шкафы.

В шкафы могут быть встроены поворотные и стационарные рамы. Пример размещения блоков и кассет в шкафах БНКУ одностороннего и двухстороннего обслуживания показан на рис. 3.31.

Блоки предназначены для размещения бесконтактных элементов управления серии «Логика-И», аппаратов индикации и имитации сигналов, навесных элементов (диодов, резисторов и др.).

Блоки, устанавливаемые в БНКУ, могут быть следующих исполнений (рис. 3.32): однорядный с одним монтажным коробом; однорядный с двумя монтажными коробами; двухрядный с двумя монтажными коробами.

Соединение элементов блоков с другой аппаратурой БНКУ осуществляется через соединительные разъемы типа РП14-30. Для размещения в блоках аппаратов управления и индикации (светодиодов, кнопок, переключателей и т. п.) предусмотрена установка кроме логических элементов панелей нескольких исполнений для различной компоновки аппаратуры.

При размещении блоков на двери аппараты устанавливают на панелях соответствую-

щих исполнений. Панели дверных блоков являются частью лицевой стороиы двери.

Крупногабаритные аппараты, такие как трансформаторы, автоматический выключатель, размещают по заказу в шкафу на металлических плитах.

В шкафу одностороннего обслуживания размещают:

на поворотной раме — до 11 блоков с элемеитами «Логики-И» с одним коробом или 8 блоков с двумя коробами;

на стационарной раме — 11 рядов контактиых зажимов, или 11 блоков с одним коробом, или 8 блоков с двумя коробами;

на двери — аппараты глубиной не более 80 мм.

В шкафу двухстороннего обслуживания размещают:

иа поворотной раме — до 11 блоков с элементами «Логики-И» с одним коробом, или 8 блоков с двумя коробами, или 10 каркасов К1-0 конструкции БУК-6;

иа каждой стороне стацноиарной рамы — по 11 рядов коитактных зажимов. Вместо каждого ряда контактных зажимов (35 шт.) на одной стороне рамы размещается блок с элемеитами «Логики-И», при этом с другой стороны рамы устанавливаются только ряды коитактиых зажимов;

иа передией двери — до 5 блоков с элементами «Логики-И» с одним коробом или другую аппаратуру. При этом нельзя устаиавливать что-лнбо на стационарной раме на стороне, обращениой к двери.

Блоки размещаются иа двери при необходимости доступа к аппаратам управления и сигнализацни, установленным в блоке с лицевой стороиы двери.

Ввод внешних кабелей осуществляется через днище шкафа. В шкафу двухстороннего обслуживания для этой цели предусмотреио 12 отверстий диаметром 40 мм, в шкафу одностороииего обслуживания — 6 отверстий.

3.35. БНКУ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ

Комплектное устройство БНКУ51 предназначено для создаиия автоматизироваиных систем управленяя электроприводами и систем управления техиологическими процессами. Осиовное функциоиальное назиачение БНКУ51 — выполнение логических, временных и счетных функций. БНКУ51 построено иа базе использования программируемого логического контроллера типа Б9601.

В основу работы коитроллера положеи программный прииции управления. Блок логического процессора служит для логической обработки входиых и получения выходных и временных функций в зависимости от программы пользователя, описывающей алгоритм работы управляемого оборудования.

Техиическая характеристика контроллера

Максимальное число входных сигиалов	256
Входные сигналы:	
постоянный ток, В	5, 12, 24, 110
переменный ток, В	24, 110, 220
Максимальное число выходных сигналов	256
Диапазон коммутируемых выходами напряжений постоянного и переменного тока, В	6—220
Диапазон коммутируемых выходами токов активной и индуктивной нагрузки, А	$4 \div 1 \times 10^{-3}$
Максимальный объем памяти программ, Кбайт	4
Объем памяти промежуточных результатов, бит	256
Время выполнения логических операций, мкс	4
Число таймеров	32
Число счетчиков	32
Объем таймеров и счетчиков, дискрет	000÷999
Масштаб таймеров, с	0,1; 1; 10
Язык программирования	Лестиичные днаграммы и символы алгебры Буля

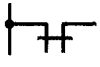
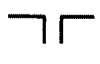
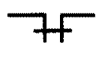
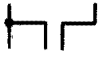
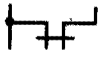
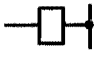
Пульт, входящий в состав коитроллера, обеспечивает программирование памяти программ, отладку программ, управлеиие режимами работы при наладке устройства, индикацию необходимой информации.

Система команд приведена в табл. 3.110. Там же указаны операнды и массивы их адресов. Обозначение операций и операндов приведено в соответствие с обозначением кнопок пульта управления, с помощью которых осуществляется запись команд в блок памяти программ.

Перечеиь основных блоков контроллера Б9601, комплектуемых в БНКУ51 по заказу, приведен в табл. 3.111.

БНКУ51 изготовляют в виде одиночного шкафа двухстороииего обслуживания со степеиью защиты IP20, климатического исполнения УХЛ4 и 04. Габариты шкафа $2000 \times 700 \times 800$ мм.

Таблица 3.110. **Система команд контроллера Б9601**

Команда	Обозначение в символах*		Операнд команды и адрес				
	релейно-контактных систем	алгебры Буля	Вход «X» 0—255	Выход «У» 0—255	Метка «М» 0—256	Таймер «Т» 0—31	Счетчик «С» 0—31
Ввод		—	+		+	+	+
Ввод с инверсией		—/	+		+	+	+
«И»		·	+		+	+	+
«И» с инверсией		·/	+		+	+	+
«ИЛИ»		+	+		+	+	+
«ИЛИ» с инверсией		+/	+		+	+	+
Посылка результата		=		+	+	+	+
Начало ветвления							
Конец ветвления							
Безусловный переход		JU					
Открыть скобу		⌈					
Открыть скобу с «ИЛИ»		+⌈					
Открыть скобу с «И»		·⌈					
Закрыть скобу		⌋					
Инверсия результата		NR					
Условный переход по «1»		JP					
Условный переход по «0»		JN					
Переход к подпрограмме		JS					
Конец подпрограммы		ES					

* Обозначения в символах приведены согласно мнемонике на экране и пульте контроллера.

Таблица 3.111. **Перечень блоков программируемого контроллера типа Б9601**

№ п/п.	Блок	Тип	Ширина лицевой панели, мм	Техническая характеристика
1	Процессора	БРУ90161	19,5	—
2	Постоянной памяти	БРУ9009	19,5	—
3	Оперативной памяти	БРУ9010	19,5	—
4	Питания	БРУ9013	120	—
5	Связи между кассетами	БРУ9011	19,5	—
6	Ввода	БРУ9002	19,5	16 входов до 24 В
7	Ввода	БРУ9002	19,5	8 входов 110, 220 В
8	Ввода	БРУ9003	19,5	16 входов до 24 В
9	Вывода	БРУ9004	19,5	16 входов реле РПГ-2
10	Вывода	БРУ9005	39,5	8 выходов РПГ-8
11	Вывода	БРУ9006	39,5	8 выходов
12	Вывода	БРУ9002	19,5	16 выходов КТ315
13	Уплотнения	Б52	19,5	—

На поворотной раме устанавливается кассета контроллера. Число кассет зависит от сложности системы управления, обслуживаемой контроллером, и может выбираться по заказу от одной до четырех.

На стационарной раме устанавливают кроссовые панели с зажимами внешних подключений.

Порядок соединения разъемов блоков кассет с зажимами строго определен и одинаков для всех исполнений БНКУ. Количество мест устаиовки блоков ввода-вывода в каждой кассете ограничено количеством зажимов кроссовой панели и составляет 10 блоков для каждой кассеты.

Первая кассета контроллера содержит основные блоки, необходимые для питания программного обеспечения и самоконтроля БНКУ, их установка обязательна для всех заказчиков. Это блоки БРУ9013, БРУ9014, БРУ9009, БРУ9003, БРУ9007, БРУ9011.

Дополнительно по заказу в первую кассету возможна установка восьми блоков ввода-вывода при ширине панели 19,5 мм. В другие кассеты устанавливаются блоки БРУ9013 и БРУ9011, а также по заказу предусмотреиа установка 10 блоков ввода-вывода, из них 4 блока с лицевой панелью 39,5 мм и 6 блоков с лицевой панелью 19,5 мм. Допускается устанавливать на месте двух блоков с панелью 19,5 мм один блок с панелью 39,5 мм.

Для охлаждения блоков контроллера в шкафу устанавливают один-два блока вентилятора в зависимости от количества кассет.

Питание БНКУ51 производится от трехфазной сети 380/220 В. Потребляемая мощность зависит от состава БНКУ51. Максимальное потребление одной кассеты 250 Вт.

Питание входиых-выходных цепей предусматривается от источников питания, устанавливаемых по заказу. Возможна установка двух источников питаиия мощностью по 0,5 кВт с вторичным напряжением из ряда 24, 110, 220 В постоянного тока; 24, 110, 220 В переменного тока.

В БНКУ51 установлены и смонтированы аппараты, необходимые для дистанционного включения, контроля работоспособности БНКУ.

В шкафу возможна установка по заказу дополнительных плат, монтируемых на боковине комплектного устройства, с резисторами и конденсаторами для согласования входных сигналов.

БНКУ51 поставляется с записаиной в постоянную память тестовой программой самоконтроля работоспособности.

При включении тестовой программы на блоках БРУ9003 и БРУ9007 первой кассеты выполняется мигание сигнализации входных-выходных сигналов с определенной временной последовательностью.

Техническое задание на разработку и изготовление БНКУ51 составляется в минимальном объеме и состоит из таблиц технических данных аппаратов и блоков контроллера, устанавливаемых по заказу, и условного чертежа общего вида.

3.36. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ НКУ

При разработке НКУ сначала определяют исполнение (открытое, защищенное и т. п.) и возможность применения типовых НКУ.

При отсутствии типовых НКУ разрабатываются индивидуальные с учетом того, что комплектующие изделия (аппараты, ряды зажимов, блоки и т. п.) должны размещаться

в пределах полезной площади комплектных устройств, а также обеспечивать: удобство и безопасность обслуживания; наблюдение за работой аппаратов; подключение внешних соединений; доступ к контактным соединениям, удобство ремонта, а также исключение возможности взаимного влияния аппаратов (переброс электрической дуги, передача механических сотрясений, вызывающих ложные срабатывания и разрегулировку аппаратов, взаимная индуктивность и др.).

Установку аппаратов в НКУ следует проводить в зоне от 400 до 2000 мм от уровня пола. По согласованию с потребителем допускается устанавливать аппараты на высоте до 400 мм (но не ниже 200 мм) и выше 2000 мм. Ряды зажимов следует устанавливать на высоте не ниже 300 мм. Дроссели, трансформаторы, реакторы, резисторы, разрядники, сирены и другие элементы, не требующие постоянного контроля и обслуживания, могут устанавливаться на высоте до 400 и выше 2000 мм.

Органы управления аппаратов ручного оперативного управления (кнопки, переключатели и т. д.) должны находиться на высоте 700—1900 мм от уровня пола.

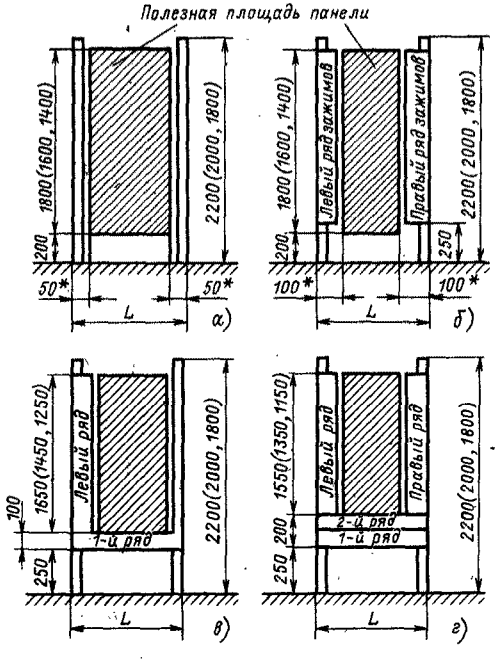


Рис. 3.33. Типоразмеры панелей:
L — ширина панели: 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 мм; *а* — при отсутствии рядов зажимов; *б* — при отсутствии горизонтальных рядов зажимов; *в* — при наличии горизонтального ряда зажимов; *г* — при наличии двух горизонтальных рядов зажимов

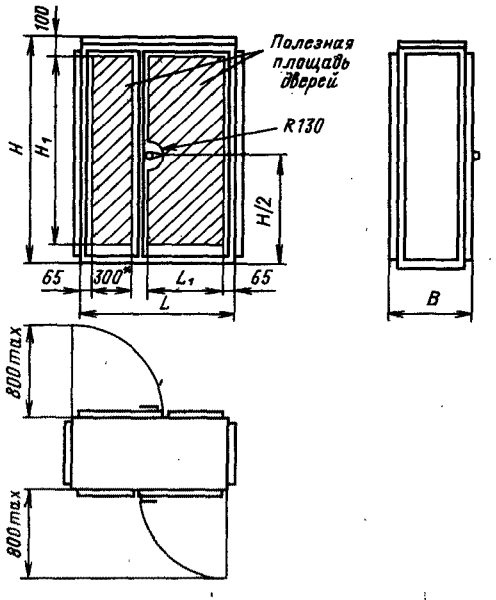


Рис. 3.34. Габариты шкафов

Измерительные приборы должны устанавливаться так, чтобы шкала каждого прибора находилась на высоте от уровня пола при работе стоя 1000—1800 мм, при работе сидя 700—1400 мм.

Силовые аппараты рекомендуется располагать таким образом, чтобы длина силовых проводов и шин была минимальной, обеспечивалось удобство подключения внешних силовых кабелей и исключалось пересечение шин и проводов на ток свыше 160 А.

Комплектующие изделия (аппараты, ряды зажимов, блоки и т. п.) размещаются на НКУ в пределах полезной площади панелей и дверей.

Комплектующее изделие считается полностью размещенным в НКУ, если в пределах полезной площади разместился аппарат и имеется еще место для его обслуживания, т. е. поместилась зона аппарата.

Размеры полезной площади панели даны на рис. 3.33, дверей напольных шкафов — на рис. 3.34 и в табл. 3.112.

При размещении аппаратов необходимо пользоваться зонами аппаратов.

Размер определяется габаритами аппарата, а также дополнительными расстояниями сверху, снизу, слева и справа от аппарата, необходимыми для подсоединения к аппарату проводников, размещения маркировки на их концах, размещения пучков проводов, а также для обслуживания аппаратов. Поэтому на чертежах общих видов зоны можно располагать вплотную друг к другу. Зоны изображаются прямоугольниками.

Таблица 3.112. **Типоразмеры напольных шкафов**

Габариты шкафа, мм			Полезная площадь двери, мм		Ширина встраиваемой панели, мм
H	*L*	*B*	H_1	L_1	
1800	600		1600	435	500
	700			535	600
	800	400		635	700
	1000			435	900, 400+500
	1200			635	1100, 400+700, 500+600
	600			435	500
	700			535	600
	800	600		635	700
	1000			435	900, 400+500
	1200			635	1100, 400+700, 500+600
	600			435	500
	700			535	600
	800	800		635	700
	1000			435	900, 400+500
	1200			635	1100, 400+700, 500+600
2200	600		2000	435	500
	700			535	600
	800	400		635	700
	1000			435	900, 400+500
	1200			635	1100, 400+700, 500+600
	600			435	500
	700			535	600
	800	600		635	700
	1000			435	900, 400+500
	1200			635	1100, 400+700, 500+600
	600			435	500
	700			535	600
	800	800		635	700
	1000			435	900, 400+500
	1200			635	1100, 400+700, 500+600

Зоны аппаратов приведены в табл. 3.113. При этом имеется в виду, что при размещении на панелях аппараты устанавливаются на наиболее распространенной конструкции — на рамах с шагом перфорации 50 мм (с таким шагом на вертикальных рамах могут устанавливаться горизонтальные рейки для крепления аппаратов).

Возможны три способа (варианта) крепления аппаратов (рис. 3.35) на рейках:

на одной рейке (вариант 1) крепятся аппараты, имеющие два установочных отвер-

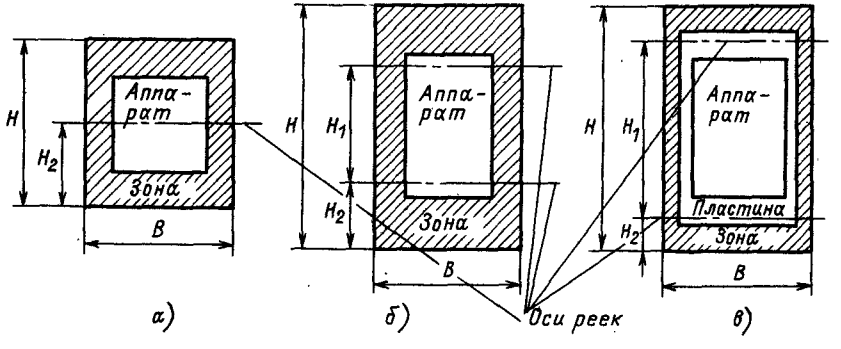


Рис. 3.35. Зоны в НКУ и варианты крепления малогабаритных аппаратов на рейках:
а — крепление на одной рейке непосредственно; *б* — крепление на двух рейках непосредственно; *в* — крепление на двух рейках при помощи переходной пластины

Таблица 3.113. **Размеры зон наиболее часто применяемых аппаратов**

Тип аппарата		Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
Контакторы						
МК-1, МК-2		250	50	150	160	
МК-3		250	50	150	200	
МК-4, МК5-01		250	50	150	250	3
МК5-10		350	100	150	150	
МК-6		450	150	150	150	
КПВ623		400	25	350	270	
КПВ624		450	25	400	300	
Пускатели						
ПМЛ1000	ПМЛ1100	150	50	50	60	2
	ПМЛ1100+ПКЛ	150	25	100	75	3
		200	25	150	75	3
	ПМЛ1100					
	ПМЛ1100+ПКЛ (2 шт.)	250	50	150	100	3
	ПМЛ1100+РТЛ	175	75	50	60	2
		200	50	100	75	3
		200	25	150	75	3
	ПМЛ1500	150	50	50		2
	ПМЛ1500+ПКЛ	150	25	100	110	3
		200	25	150		3
	ПМЛ1500+РТЛ	175	75	50		2
		200	50	100	110	3
		200	25	150		3
ПМЛ2000	ПМЛ2100	150	50	50	60	2
	ПМЛ2100+ПКЛ	150	25	100	80	3
		200	25	150	80	3
	ПМЛ2100+РТЛ	175	75	50	60	2
		200	75	100	80	3
		200	25	150	80	3
	ПМЛ2500	150	50	60		2
	ПМЛ2500+ПКЛ	150	25	100	130	3
		200	25	150		3
	ПМЛ2500+РТЛ		100	50		2
		200	75	100	130	3
			25	150		3
ПМА3000	ПМА3102	200	50	100	140	3
		200	25	150	100	3
	ПМА3202	250	100	100	140	3
		300	100	150	100	3
	ПМА3502	200	50	100	210	2
	ПМА3602	250	100	100	210	2
ПМА4000	ПМА4102	250	75	100	120	2
		250	50	150	165	3
	ПМА4202	300	125	100	120	2
			100	150	165	3

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата		Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
ПМА4000	ПМА4502	250 250	75 50	100 150	290 325	2 3
	ПМА4602	300	125 100	100 150	290 325	2 3
ПМА5000	ПМА5102	300 300	100 75	100 150	130 160	2 3
	ПМА5202	350 350	150 100	100 150	130 160	2 3
	ПМА5502	300 300	100 75	100 150	280 320	2 3
	ПМА5602	350 350	150 100	100 150	280 320	2 3
ПМА6000	ПМА6102	400 400	150 125	100 150	150 180	2 3
	ПМА6202	500 500	250 200	100 150	150 180	2 3
	ПМА6502	400 400	150 125	100 150	350 385	2 3
	ПМА6602	500 500	250 200	100 150	350 385	2 3
Выключатели автоматические						
АЕ20	АЕ2020 АЕ2030 АЕ2040 АЕ2050	200 250 300 300	25 50 50 50	150 150 220 200	75 80 80 120	3 3 3 2
АП50Б	Трехполюсные: $I_{ном.р} \leqslant 25$ А	200	25	150	105, 140	3
	$I_{ном.р} > 25$ А	250	50	150	105, 140	3
	Двухполюсные: $I_{ном.р} \leqslant 25$ А	200	25	150	85, 120	3
	$I_{ном.р} > 25$ А	250	50	150	85, 120	3
А63		200	50 25	100 150	30 75	2 3
АК63	Двухполюсные: $I_{ном.р} \leqslant 25$ А	200	25	150	75	3
	$I_{ном.р} > 25$ А	250	50			
	Трехполюсные: $I_{ном.р} \leqslant 25$ А	200	25	150	100	3
	$I_{ном.р} > 25$ А	250	50			

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата			Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
			H	H_2	H_1	B	
А3700 (вертикальная установка)	А3710		450	25	350	120	3
	А3720		500	50	400	160	3
	А3730		600	50	500	240	3
	А3740		700	50	600	240	3
А3100	А3140		700	50	600	250	3
А3700 (горизонтальная установка)	А3730		250	50	150	600	3
	А3740		250	50	150	700	3
	А3740		300	25	250	700	3
А3793Б	$I_{ном}=250$ А		600	50	500	240	3
А3794Б	$I_{ном}=400$ А		600	50			3
	$I_{ном}=530$ А		700	100			3
Колодка зажимов	К А3700 и А3790	1 шт.	150	25	100	80	3
		2 шт	200	25	150	80	3
		3 шт.	200	25	150	80	3
	К А3100	1 шт.	200	25	150	100	3
			100	50	—	160	1
АЕ2000	АЕ2040М		250	50	150	85	3
	АЕ2050М		300	50	200	80	2
	АЕ2060		400	100	200	120	2
Реле промежуточные							
ПМЛ1100, РПЛ, в том числе с ПКЛ			150	50	50	60	2
			150	25	100	75	3
			200	25	150	75	3
ПМЛ1100, РПЛ, в том числе с ПКЛ (2 шт.)			250	50	150	100	3
РПУ-2 (четырехконтактное РПУ4)			200	25	150	75	3
РП21 с розеткой типа 3			150	50	50	50	2
РПУ-3			225	50	150	150	3
РП111, РП112			200	25	150	210	3
РП11, РП12			200	25	150	160	3
РП250			200	25	150	140	3
РП20-211			150	75	—	60	1
			150	25	100	75	3
			200	25	150	75	3
РП20-217			200	100	—	60	1
			200	25	150	75	3
РПГ4-3101, РПГ4-3120, РПГ10-3520			100		50	35	2
			200	25	150	75	3
РПГ4-3102, РПГ4-3140, РПГ10-3540			100		50	45	2
			200	25	150	85	3
РПГ4-3160, РПГ10-3560			100		50	55	2
			200	25	150	95	3

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата		Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
Реле управления						
РЭВ811, РЭВ814, РЭВ821, 822 РЭВ827, РЭВ851, 853		200	50 25	100 150	130	3
РЭВ815, РЭВ818, РЭВ825, 826 РЭВ828, РЭВ852, 854		225	50 25	100 150	170	3
РЭВ311 РЭВ312 ($I_{ном}$=63 А)		250	150 100 50	— 100 150	130	1 3 3
РЭВ312	$I_{ном}$=100 А	250	150 100 50	— 100 150	160	1 3
	$I_{ном}$=150 А	250	150 100 50	— 100 150	190	1 3
	$I_{ном}$=150, 300 А	250	150 100 50	— 100 150	220	1 3
	$I_{ном}$=400, 630 А	250	150 100 50	— 100 150	250	1 3
РЭВ200	$I_{ном}$<40 А	250	125 75 50	— 100 150	175	1 3
	$I_{ном}$=63÷100 А	250	125 75 50	— 100 150	180	1 3
	$I_{ном}$=120÷320 А	300	175 125 100	— 100 150	200	1 3
	$I_{ном}$=630 А	350	225 175 150	— 100 150	220	1 3
РЭВ830	$I_{ном}$=0,6÷63 А	250	100 50 50	— 100 150	140	1 3
	$I_{ном}$=80÷100 А	250	100 50 50	— 100 150	180	1 3
	$I_{ном}$=120÷160 А	250	100 50 50	— 100 150	190	1 3
	$I_{ном}$=200÷630 А	250	100 50 50	— 100 150	200	1 3

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата		Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
РЭВ570	$I_{ном}=0{,}6\div63$ А	250	150	—	130	1
			100	100		3
			50	150		
	$I_{ном}=80\div400$ А	250	150	—	200	1
			100	100		3
			50	150		
	$I_{ном}=300\div630$ А	250	150	—	250	1
			100	100		3
			50	150		
РВП72-31; РВП72-32		200	25	100	130	3
			25	150	130	3
ВЛ34, ВЛ35		200	25	150	215	3
ВЛ40, ВЛ41					120	
ВЛ43 — ВЛ48		125	50	50	75	2
		150	25	100		3
		200		150		
ВС10-31 — ВС10-38		250	50	150	210	3
ВС10-62 — ВС10-68					250	
КЭП-12У		400	150	150	400	3
РВ100, РВ200		200	25	150	150	3
РВ01		200	25	150	120	3
РН150		200	25	150	140	3
ЕЛ10		200	26	150	75	3
Реле тепловые						
РТЛ1000		100	25	50	45	2
		200		150	70	3
РТТ-21	$I_{ном}=40$ А	125	100	—	100	1
	$I_{ном}=50$, 63 А	125	100	—	100	1
РТТ-31	$I_{ном}=63$ А	125	100	—	150	1
	$I_{ном}=100$ А	200	150	—		
	$I_{ном}=160$ А	200	150	—	150	1
РТТ-41	$I_{ном}=630$ А	200	50	100	350	3
Реле сигнальные						
РУ-1-ХХ-2		150	25	100	90	3
		200	25	150		
РИС-Э2М, РИС-Э3М		250	25	200	200	2

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата		Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
Предохранители						
ППТ-10		100	50	—	25	1
ПРС-6-II		150	50	—	90	1
		150	25	100	70	3
		200	25	150	70	3
ПРС-6-II (2 шт.)		200	25	150	110	3
ПРС-25-II		150	25	100	75	3
		100	50	—	150	1
		200	25	150	75	3
ПРС-25-II (2 шт.)		200	25	150	140	3
ПРС-63-II (2 шт.)		200	25	150	180	3
ПРС-100-II		150	25	100	230	3
		200	50	150	100	3
Рубильники						
Расположение плоскостей присоединительных зажимов перпендикулярное	Р11-311Х0 РП11-311Х0	250	100	50	170	2
			75	100		
			50	150		3
	Р11-312Х0 РП11-312Х0	250	100	50	210	2
			75	100		
			50	150		3
	Р11-313Х0 РП11-313Х0	250	100	50	250	2
			75	100		
			50	150		3
	Р11-351Х0 РП11-351Х0	300	100	50	200	2
			75	100		
			50	150		3
	Р11-352Х0 РП11-352Х0	300	100	50	250	2
			75	100		
			50	150		3
	Р11-353Х0 РП11-353Х0	300	100	50	300	2
			75	100		
			50	150		3
	Р11-371Х0	350	125	100	220	2
			100	150		3
	Р11-372Х0	350	125	100	280	2
			100	150		3
	Р11-373Х0	350	125	100	340	2
			100	150		3

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата	Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
	H	H_2	H_1	B	
Выключатели и переключатели					
УП5311	200	25	150	150	3
ПКУ3-16 с овальной рукояткой	150	75	—	100	1
	150	25	100	120	3
	200	25	150	120	3
ПКУ3-16 с флажковой рукояткой	200	100	—	140	1
	200	50	100	160	3
	200	25	150	160	3
ПВХ-10; ППХ-10, исполнение 3	100	50	—	100	1
	150	25	100		3
	200	25	150		3
ПВХ-25; ППХ-25, исполнение 3	150	75	—	150	1
	150	25	100		3
	200	25	150		3
ПВХ-60; ППХ-60, исполнение 3	250	125	—	200	1
	250	75	100		3
	250	50	150		3
ПВХ-100; ППХ-100, исполнение 3		150	—	200	1
	300	100	100		3
		75	150		3
ПЕ031, ПЕ032	200	25	150	100	3
Кнопки					
КЕ (2 шт.)	200	25	150	100	3
Трансформаторы					
ОСМ-0,63, ОСМ-0,1	150, 200	25	100, 150	130	3
ОСМ-0,16; ОСМ-0,25	200	25	150	160	3
ОСМ-0,4	200	25	150	160	3
ОСМ-0,63; ОСМ-1,0	150	50	150	230	3
ТТ-0,063; ТТ-0,1	150	25	100	120	3
	200		150		
ТТ-0,16	200	50	100	160	3
	250		150		
ТТ-0,25	250	50	150	160	3
ТТ-0,4	200	50	100	200	3
	250		150		
ТТ-0,63	250	50	150	200	3
ТТ-1,0	250	50	150	260	3

Продолжение табл. 3.113

Тип аппарата		Размеры зоны без коробов, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
ТК20	$I_{ном} \leqslant 220$ А	250	75 50	100 150	120	3
	$I_{ном} = 300, 400$ А	250	75 50	100 150	120	3
	$I_{ном} = 500$ А	300	75	150	120	3

стия, расположенные по горизонтальной оси, например тепловое реле РТТ;

на двух рейках непосредственно (вариант 2) крепятся те аппараты, у которых установочный размер по вертикали кратен шагу перфорации стоек панели (50 мм), например пускатели ПМА;

на двух рейках с помощью переходной пластины крепятся аппараты, которые не относятся к первым двум вариантам.

Для наиболее часто применяемых аппаратов в табл. 3.113 предусмотрено несколько размеров зон по высоте. Предпочтение следует отдавать меньшему размеру, но если в одном ряду устанавливают аппараты с разной высотой зоны, то можно выбирать любой размер зоны по табл. 3.113, обеспечивая наиболее удобный вариант для конкретного ряда аппаратуры и панели в целом.

Бесконтактную малогабаритную аппаратуру (резисторы МЛТ, диоды Д226, конденсаторы и т. п.) устанавливают на одну рейку по несколько штук (в пакетном креплении). В табл. 3.114 (см. также рис. 3.36) приведены размеры зон малогабаритной аппаратуры. При невозможности установки резисторов, диодов и конденсаторов на одной рейке предусмотрено крепление на рейках и на переходной пластине (см. вариант 2 в табл. 3.114).

КОМПОНОВКА ОТКРЫТЫХ ЩИТОВ

Расположение панелей в открытом щите может быть однорядным, двухрядным и комбинированным.

Двухрядное и комбинированное расположение может быть только в щитах глубиной 800 мм. При компоновке такого щита необходимо в первую очередь заполнить панелями фасад щита, за который принята часть глубиной 300 мм, а затем заднюю часть щита.

В комбинированном щите панели с задним монтажом сочетаются с панелями с передним монтажом. При этом панели с задним монтажом устанавливаются в один ряд, а панели с передним монтажом могут устанавливаться либо в один, либо в два ряда. Например, панель ввода и сливные панели управления мощными двигателями могут быть с задним монтажом, а релейные панели — с передним. В этом случае вводная и сливная панели устанавливаются в один ряд, а релей-

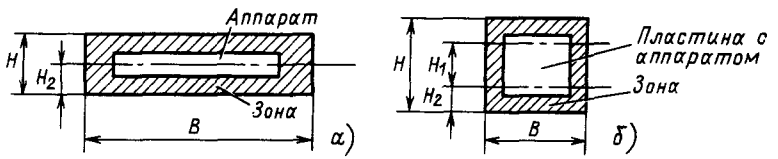


Рис. 3.36. Зоны в НКУ и варианты крепления малогабаритных аппаратов на рейках:
а — крепление на одной рейке; *б* — крепление на двух рейках

Таблица 3.114. **Размеры зон малогабаритной аппаратуры**

Тип аппарата	Количество аппаратов в одной зоне	Размеры, мм				Вариант
		H	H_2	H_1	B	
МЛТ-1	1—10	60	20	—	90	1
МЛТ-2	1—5					
Д814	1—10					
Д242 — Д247, Д815 — Д817, Д229	1 2 3 4 5 6	100	75	—	110 165 220 275 330 385	1
Т-50, Т-100, Т-160 В10-50, В-200	1	200	25	150	240	2
ПЭВ и ПЭВР — не более 50 Вт; С5-35В, С5-36В	1	80	40	—	60	1
ПЭВ-25, ПЭВР-25 С5-35В-25 С5-36В-25	1—6	60	30	—	120	1
ПЭВ-50, ПЭВР-50 С5-35В-50 С5-36В-50	1—6	80	40	—	160	1
ПЭВ-100, ПЭВР-100 С5-35В-100 С5-36В-100	1—6	80	40	—	240	1
ППБ-3, ППБ-25	1	100	25	—	70	1
ПП5-50 С5-30-П-15В С5-30-П-25В С5-30-П-50В	2	200	25	150	100	2
РП5, РП7	1 1	100 200	50 25	— 150	75 75	1 2

ные панели — в два ряда тыльными сторонами друг к другу.

Двухрядное расположение панелей является предпочтительным, так как позволяет лучше использовать объем каркаса щита. Однако оно невозможно, если щит устанавливается вплотную к стене. Кроме того, в двухрядном щите напротив стоящие панели должны быть одинаковой ширины или ширины двух панелей в сумме должна быть равна ширине напротив стоящей панели. Например, напротив двух панелей 500+600 мм может быть расположена панель 1100 мм. Кроме того, в зависимости от конкретных условий размещения щитов, а также их назначения могут применяться комплектные устройства, построенные на базе открытых щитов: закрытые только спереди; закрытые спереди и с боков, а также с поворотными листами.

Щит, закрытый только спереди, представляет собой обычный открытый щит, в котором на передней плоскости каркаса щита установлены двери. Двери могут предусматриваться по всему фасаду щита или закрывать только

часть его по усмотрению проектировщика. Двери — двухстворчатые. Ширина дверей всегда одинакова и равна: левая 400, правая 700 мм. Напротив дверей может быть только панель шириной 1100 мм или две панели, ширина которых в сумме составляет 1100 мм, т. е. это могут быть панели 500 и 600 мм или 400 и 700 мм. Ширина секции с дверями должна быть 1100, 2200 или 3300 мм. Остальные секции щита могут иметь ширину, не кратную 1100 мм. Эти щиты могут выполнять одновременно две функции — диспетчерского щита (управления и сигнализации) и щита управления электроприводами.

Щит, закрытый спереди и с боков, идентичен щиту, закрытому только спереди, но торцы такого щита закрыты стенками.

Щит с поворотными листами представляет собой открытый щит с передним монтажом, в котором для установки аппаратуры, имеющей только заднее присоединение проводов (ключей, кнопок, измерительных приборов и т. п.), предусматриваются поворотные листы.

Листы могут устанавливаться в открытых щитах глубиной 600 мм одностороннего обслуживания, а также в щитах глубиной 800 мм двухрядных и комбинированиых.

В комбинированных щитах поворотные листы могут предусматриваться только для панелей с передним монтажом.

Поворотные листы могут размещаться либо на передией (лицевой) плоскости каркаса щита, либо на задией, т. е. в плоскости основных панелей за счет полезной площади панели.

Листы на передней плоскости щита имеют размер 600×700 мм и могут размещаться только на крайних панелях секции. На одних стойках, т. е. напротив одной панели, может быть размещено не более двух листов. Ширина напротив стоящей панели может быть любой.

Ряды зажимов для аппаратов поворотного листа, установленного на передией плоскости щита, предусматриваются на задней (панельной) плоскости щита, причем не обязательно на той панели, напротив которой расположен поворотный лист.

Листы по задней плоскости щита имеют размеры 300×700 и 600×700 мм и могут размещаться как на крайних, так и на любой средней панели.

Их количество на одной панели может быть 1 или 2. Ширина панели может быть любой, но не менее 700 мм. Аппаратура и ряды зажимов не устанавливаются сзади этих листов (на панели). Ряды зажимов для аппаратов такого поворотного листа устанавливаются на той же панели.

Листы на передней плоскости щита применяются для универсальных переключателей или других аппаратов, имеющих большой вылет назад. В остальных случаях рекомендуется применять листы, устанавливаемые на задней плоскости щита.

Масса аппаратуры, устанавливаемой на листах размером 300×700 мм, равна 10 кг, а размером 600×700 мм — 20 кг.

При компоновке открытых щитов следует учитывать, что открытые щиты должны разрабатываться преимущественно с передним монтажом проводов — однорядные глубиной 600 мм или двухрядные глубиной 600 мм, а щиты с задним монтажом проводов могут предусматриваться лишь в двух случаях — диспетчерские щиты (глубиной 600 мм) или щиты глубиной 800 мм, в которые входят в основном типовые блоки и панели с задним монтажом. В остальных случаях вместо щитов с задним монтажом следует разрабатывать комбинированные щиты.

Шкафы. Защищенные щиты. Типоразмеры шкафов приведены в табл. 3.107 и показаны на рис. 3.30. Совокупность нескольких шкафов, соединенных между собой механически, называется защищенным щитом.

В зависимости от глубины в шкафы (защищеиные щиты) панели могут встраиваться следующим образом:

а) при глубине 400 и 600 мм — с передним моитажом проводов однорядные;

б) при глубине 600 и 800 мм — с задним монтажом проводов однорядные и с передним монтажом двухрядные;

в) при глубиие 600 и 800 мм в пределах одного щита и одной секции могут устанавливаться в разных шкафах панели с передним монтажом двухрядные и панели с задним монтажом однорядные.

Максимальная ширина панели, встраиваемой в шкаф, на 100 мм меньше ширины шкафа.

В шкафы шириной 1200 и 1000 мм могут быть встроены в один ряд одна панель шириной 1100 и 900 мм соответственно или по две панели, ширина которых в сумме составляет 1100 и 900 мм. Применение двух панелей в одном ряду целесообразно при наличии в шкафу контакторов. В этом случае контакторы устанавливаются на панели, ширина которой соответствует ширине контактора. В месте стыка рам нетиповых панелей допускается устанавливать только один вертикальный ряд зажимов для внешних соединений на любой из панелей.

При выборе конструктивного исполнения защищенных щитов и шкафов необходимо учитывать следующее:

1) шкафы и защищенные щиты одностороииего обслуживания, как правило, должны

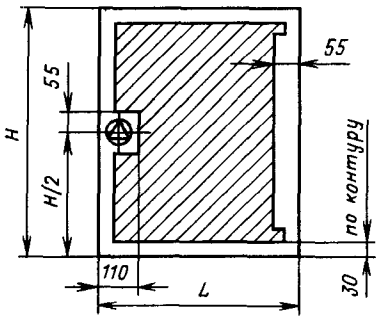


Рис. 3.37. Размеры полезиой площади дверей ящиков с одним замком

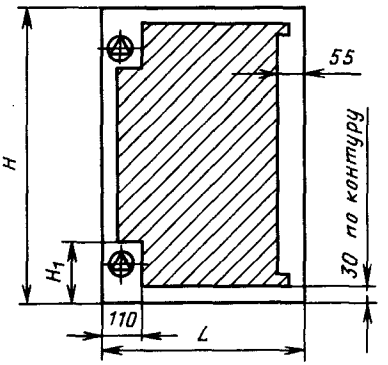


Рис. 3.38. Размеры полезной площади дверей ящиков с двумя замками

применяться глубиной 600 мм как для однорядного, так и для двухрядного расположения панелей. Шкафы глубиной 800 мм можно предусматривать в основном для двухстороннего обслуживания двухрядного и комбинированного расположения панелей. Шкафы глубиной 400 мм могут применяться только как одиночные;

2) защищенные щиты имеют одну высоту — 2200 мм; одиночные шкафы могут быть высотой 2200 и 1800 мм;

3) для диспетчерских щитов защищенного исполнения применяются шкафы двухстороннего обслуживания шириной 800 мм;

4) шкафы рекомендуется применять максимально возможной ширины.

Диспетчерские щиты. Диспетчерские щиты (управления, сигнализации и измерения), в том числе с миемосхемами, являются разновидностью открытого щита, они изготовляются с задним монтажом проводов, требуют двухстороннего обслуживания.

При сравнительно иебольшом количестве сигнальных ламп, аппаратов ручного управления и измерительных приборов вместо таких самостоятельных щитов рекомендуется использовать поворотные листы открытых щитов или двери щитов, закрытых спереди.

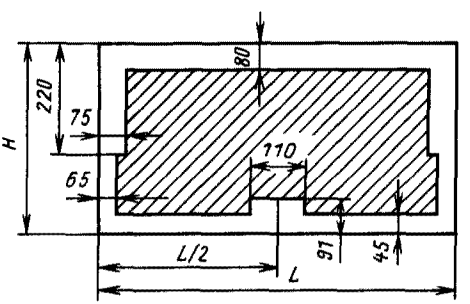


Рис. 3.39. Размеры полезной площади крышек пультов

Для диспетчерских щитов используются каркасы глубиной 600 мм.

В защищенных щитах и отдельных напольных шкафах мнемосхема размещается на задних дверях шкафов в пределах их полезной площади по рис. 3.34. При этом отдельные шкафы могут быть глубиной 600 и 800 мм, а щитовые — только 800 мм.

Рекомендации по расцветке элементов мнемосхемы следующие:

Таблица 3.115. **Габариты ящиков**

Тип металлоконструкции ящика	ЯУЭ-0431	ЯУЭ-0432	ЯУЭ-0643	ЯУЭ-0863	ЯУЭ-1063	ЯУЭ-1263	ЯУЭ-1265
Габариты, мм	400× ×300× ×180	400× ×300× ×250	600× ×400× ×350	800× ×600× ×350	1000× ×600× ×350	1200× ×600× ×350	1200× ×600× ×500

Таблица 3.116. **Размеры полезной площади двери ящиков с одним замком**

Тип металлоконструкции ящика	Размеры, мм	
	H	*L*
ЯУЭ-0431, ЯУЭ-0432	340	240
ЯУЭ-0643	540	340

Таблица 3.117. **Размеры полезной площади двери ящиков с двумя замками**

Тип металлоконструкции ящика	Размеры, мм		
	H	H_1	*L*
ЯУЭ-0863	740	178	540
ЯУЭ-1063	940	235	
ЯУЭ-1263	1140		

Таблица 3.118. **Размеры полезной площади крышек пультов**

Тип пульта по ОСТ	Размеры, мм	
	H	*L*
ПУЭ-011047	490	395
ПУЭ-012047		
ПУЭ-011067		595
ПУЭ-012067		
ПУЭ-011087		795
ПУЭ-012087		
ПУЭ-011107		995
ПУЭ-012107		
ПУЭ-021047	680	395
ПУЭ-022047		
ПУЭ-021067		595
ПУЭ-022067		
ПУЭ-021087		795
ПУЭ-022087		
ПУЭ-021107		995
ПУЭ-022107		
ПУЭ-031067	490	595
ПУЭ-032067		
ПУЭ-031087		795
ПУЭ-032087		
ПУЭ-031107		995
ПУЭ-032107		
ПУЭ-041044	375	395
ПУЭ-042044		
ПУЭ-041064		595
ПУЭ-042064		
ПУЭ-041084		795
ПУЭ-042084		
ПУЭ-041104		995
ПУЭ-042104		
ПУЭ-051067	680	595
ПУЭ-052067		
ПУЭ-051087		795
ПУЭ-052087		
ПУЭ-051107		995
ПУЭ-052107		

Продолжение табл. 3.118

Тип пульта по ОСТ	Размеры, мм	
	H	*L*
ПУЭ-061044	375	395
ПУЭ-062044		
ПУЭ-071044		
ПУЭ-072044		
ПУЭ-061064		595
ПУЭ-062064		
ПУЭ-071064		
ПУЭ-072064		
ПУЭ-061084		795
ПУЭ-062084		
ПУЭ-071084		
ПУЭ-072084		
ПУЭ-081047	275	395
ПУЭ-082047		
ПУЭ-081067		595
ПУЭ-082067		
ПУЭ-081087		795
ПУЭ-082087		
ПУЭ-081107		995
ПУЭ-082107		
ПУЭ-091047	275	395
ПУЭ-092047		
ПУЭ-091067		595
ПУЭ-092067		
ПУЭ-091087		795
ПУЭ-092087		
ПУЭ-091107		995
ПУЭ-092107		

на мнемосхеме одного щита рекомендуется не более шести-семи цветов;

элементы мнемосхемы должны быть окрашены в цвета, контрастные к фону щита. Основные цвета — красный, зеленый, желтый, голубой, синий, белый и черный;

цвет фона щита — светло-серый и черный;

цвета мнемосимволов и потоков (линий), изображающих транспортировку твердых веществ, должны в какой-то мере отражать цвет транспортируемого вещества.

ЯЩИКИ И ПУЛЬТЫ

Габариты ящиков приведены в табл. 3.115.

Габариты пультов приведены на рис. 3.25.

Аппараты и приборы размещаются на дверях ящиков и крышках пультов в пределах их полезной площади, размеры которой для дверей ящиков приведеиы на рис. 3.37 и 3.38 и в табл. 3.116 и 3.117 соответственно, а для крышек пультов — на рис. 3.39 и в табл. 3.118.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В данном разделе помещены справочные материалы по электрической части осветительных установок. Материалы по светотехнической части (сведения по светотехнике, источникам света, осветительным приборам, нормированию и расчету освещения) можно найти в [38].

Осветительная установка — совокупность осветительных приборов (светильников, прожекторов, освещающих какое-либо здание, помещение, сооружение, открытую территорию), электрических сетей для питания осветительных приборов и управления ими и относящихся к этим сетям электрических аппаратов и устройств.

Внутреннее освещение — осветительные установки помещений зданий разного назначения.

Наружное освещение — осветительные установки любых открытых пространств и наружных частей зданий и сооружений любого назначения.

Виды освещения — различные по назначению части осветительной установки. Различают рабочее, аварийное, эвакуационное, дежурное, охранное освещение.

Рабочее освещение — часть осветительной установки, создающая необходимую по нормам освещенность (в помещениях, на отдельных рабочих местах, на участках территории, в местах производства наружных работ) при нормальных режимах эксплуатацин.

Аварийное освещение — часть осветительной установки, создающая при погасании рабочего освещения условия освещения, необходимые для продолжения работы персонала в помещениях и местах производства наружных работ в случаях, когда отсутствие освещения может вызвать тяжелые последствия для людей и производства.

Эвакуационное освещение — часть осветительной установки, создающая необходимые условия освещения для безопасного выхода людей из помещений или мест производства наружных работ при погасании рабочего освещения. Указание, где необходимо устройство аварийного и эвакуационного освещения, приводится в общих светотехнических нормах гл. II-4—79 СНиП [39] и в отраслевых нормах искусственного освещения.

Дежурное освещение — часть осветительной установки, предназначенная для облегчения ориентировки в помещениях и на открытых территориях ограниченному числу людей и транспорта в нерабочее время при отключении рабочего, аварийного и эвакуационного освещения. Для дежурного освещения обычно используется часть светильников рабочего, аварийного или эвакуационного освещения.

Охранное освещение — часть установки наружного освещения, устраиваемая вдоль границ охраняемой территории предприятия или сооружения.

Системы освещения — способы и технические средства, которыми в помещениях создаются необходнмые условия освещения. Различаются две системы внутреннего освещеиия: общее и комбинированное. Общее освещение может быть равномерным и локализованным.

Общее равномерное освещение создает одннаковую (с определенной степенью неравномерности) освещенность по всей площади помещения. Светильники размещают в верхней зоне помещения, как правило, на одной высоте над полом, с одинаковым расстоянием между светильниками в ряду и между рядами светильников.

Общее локализованное освещение создает на разных участках помещения разную освещенность (в зависимости от характера зрительной работы). Светильники размещают в верхней зоне помещения с разными расстояниями между рядами или светнльниками в ряду или на разной высоте над полом, иногда используют светильники разных типов или с лампами разной мощности.

Комбинированное освещение в помещенни совмещает общее (обычно равномерное) и местное освещение.

Местное освещенне создает повышенную освещенность на рабочих местах. Выполняется светильниками, установленнымн на небольшом расстоянии от освещаемых поверхностей (обычно до 1 м).

Переносное освещение создается переносными (обычно ручными) светильниками, используется при ремонтных работах и для некоторых производственных процессов, питается от розеток.

Малое напряжение — номинальное напряжение не более 42 В, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током. Применяемые номинальные значения малого напряжения для сетей и электроприемников общего, местного и переносного освещения 40, 36, 24 и 12 В.

Таблица 4.1. **Нормы освещенности для некоторых помещений производственных зданий (при использовании разрядных ламп)**

Помещение	Разряд и подразряд работ или таблица по СНиП II-4-79	Минимальная освещенность, лк		
		Комбинированное освещение		Одно общее освещение
		общее + + местное	от одного общего	
Черная металлургия				
Литейные дворы доменных и сталеплавильных цехов, миксерные отделения, рабочие площадки мартеновских печей, агломерационные машины, разливочные машины, нагревательные колодцы, методические печи, конверторные цехи, станы горячей прокатки, трубопрокатные станы	VII	—	—	200
Внутренние площадки и лестницы печей, площадки МНЛЗ, отделения воздухонагревателей, горелок, фильтров кристаллизаторов	VIIIб	—	—	50 (20)
Колпаковые печи	VI	—	—	150
Станы холодной прокатки, агрегаты отделки	Va	—	—	200
Браковка заготовок, разметка и сортировка листов, места отделки металла, инспекционные участки труб	IIIа	—	—	500
Места контроля листов и прокатного металла	IIб	—	—	750
Отделения грохочения, сортировки, дробления, классификаторов флотационных машин, электромагнитных сепараторов, дробилок, приготовления реагентов, сушки и обжига	VI	—	—	150
Машиностроение				
Литейное производство				
Плавильно-заливочное отделение	VII	—	—	200
Центробежное литье, литье под давлением, стержневое, формовочное отделение, обрубка, очистка	IIIб	1000	150	300
Первичная обработка литья	Va	—	—	200
Вторичная обработка литья	IIIб	—	—	300
Кузнечное производство				
Заготовительное отделение	Vб + 1	—	—	200
Ковка	VII	—	—	200
Штамповка				
На автоматах	Vб + 1	300	150	200
С ручной подачей	IVб + 1	750	150	300
Термическая обработка	VII	—	—	200
Механическая обработка				
Средней точности	IIа	2000	200	—
Высокой точности (прецизионное станкостроение, ремонтно-механические цехи, ОТК, разметочные плиты)	IIв + 1	2500	300	—
Очень высокой точности (инструментальные цехи)	Iв + 1	3000	300	—
Слесарные работы	IIв	2000	300	—
Сварка, пайка				
Газовая, дуговая сварка, точечная сварка крупных деталей	VII	—	—	200
Пайка и точечная сварка средней точности	IIIб	1000	150	300
Сложная пайка и сварка	IIб	3000	200	—
Сборка				
Крупных деталей	IVб	500	200	200
Средних деталей	IIIб	1000	300	300

Продолжение табл. 4.1

Помещение	Разряд и подразряд работ или таблица по СНиП II-4-79	Минимальная освещенность, лк		
		Комбинированное освещение		Одно общее освещение
		общее + + местное	от одного общего	
Мелких и точных деталей	IIв	3000	300	750
Окраска				
Пониженные требования к качеству окраски	IVб	—	—	200
Средние требования	IIIб	—	—	300
Высокие требования	IIIа	—	—	500
Деревообработка				
Лесопильные рамы	Vб+1	—	—	200
Разметка, строгание, грубая шлифовка, механическая и слесарная обработка среднего качества, фанерование, бондарные работы, сборка моделей, мебели	IIIв	—	—	300
Тонкая механическая и слесарная обработка, тонкая шлифовка, отделка	IIа	2000	200	500
Изготовление деревянной тары	IVв	—	—	200
Производство химических волокон				
Расплавление капролактама	Vг	—	—	100
Формирование и вытяжка щетины и лески	Vв	—	—	150
Прядение вискозы	IIIв	—	—	300
Разбраковка вискозы	IIIа	2000	200	500
Выработка корда, шелка и штапеля из капронового и лавсанового волокна	Vб	—	—	150
Намотка нити корда, штапеля	IVа	—	—	200
Намотка шелка	IIв	—	—	500
Химическая промышленность				
Цехи шинных заводов:				
Подготовительные	Vб	—	—	150
Автоклавные	VI	—	—	150(75)
Вулканизационные	IVб	—	—	200
Сборочные	IVб	—	—	200
Насосные горючих и взрывоопасных жидкостей	VI+1	—	—	200(100)
Помещения КИП:				
фасадов щитов	IVг—1	—	—	100*
задняя сторона щита	VI—1	—	—	100*
Склады закрытые				
Громоздких предметов и сыпучих материалов (леса, песка, цемента и т. п.):				
механизированные	VIIIб	—	—	50(20)
немеханизированные	VIIIв	—	—	30(10)
Материальные, инструментальные и т. п.:				
стеллажное хранение	VI—1	—	—	100(50)
напольное хранение	VIIIб	—	—	50(20)
Емкостей химических и легковоспламеняющихся жидкостей (кислот, щелочей, лаков, красок и т. п.):				
с разливом на складе	VI—1	—	—	100(50)
без разлива на складе	VIIIв	—	—	30(10)

Продолжение табл. 4.1

Помещение	Разряд и подразряд работ или таблица по СНиП II-4-79	Минимальная освещенность, лк		
		Комбинированное освещение		Одно общее освещение
		общее + + местное	от одного общего	
Галереи и туннели				
Галереи шинопроводов, галереи и туннели транспортеров	VIIIв	—	—	30(10)
Галереи, туннели кабельные, теплофикационные, водопроводные, масляные, хвостопроводов, пульпопроводов	VIIIг	—	—	20(5)
Инженерные корпуса промышленных предприятий				
Конторские помещения, кабинеты	Табл. 2, п. 1	—	—	300
Машинописные, машиносчетные бюро	Табл. 2, п. 3	—	—	400
Проектно-конструкторские, чертежные, копировальные бюро	Табл. 2, п. 2	—	—	500
Лаборатории разные	Табл. 2, п. 17	—	—	300
Светокопировальные	Табл. 2, п. 14	—	—	200
Залы читальные, лекционные, конференц-залы	Табл. 2, п. 4	—	—	300
Книгохранилища	Табл. 2, п. 9	—	—	75
Здания и помещения для ЭВМ				
Залы ЭВМ, помещения внешних запоминающих устройств, подготовки данных, сервисной аппаратуры, графопостроителей и графоповторителей, ремонта типовых элементов замены и электромеханических устройств, электронно-клавишных вычислительных машин, приема и выпуска информации	СН512—78, табл. 4, п. 1	—	—	400
Архивы магнитных и бумажных носителей:				
на рабочих столах	СН512-78, табл. 4	—	—	400
на стеллажах	СН512-78, табл. 4, п. 2	—	—	200
Электропомещения				
Электромашинные залы:				
без естественного освещения	IVг+1	—	—	200
с естественным освещением	IVг	—	—	150
Помещения щитов с постоянным пребыванием людей и наблюдением за щитом с расстояния:				
более 0,5 м	IVг+1	—	—	250*
до 0,5 м	IVг	—	—	150*
задняя сторона щита	IVг—1	—	—	100
пульт управления, стол диспетчера	IVг—1	—	—	100
Помещения распределительных устройств, КТП, щитов с периодическим пребыванием людей:				
фасадная сторона	IVг—1	—	—	100(75)*
задняя сторона	IV—1	—	—	100(50)*
Помещения статических конденсаторов	IVг—1	—	—	100(75)
Помещения аккумуляторов	VI—1	—	—	100(50)
Ремонт аккумуляторов	IVб	500	150	200
Кабельный подвал (этаж)	VIIIв	—	—	30(10)

Продолжение табл. 4.1

Помещение	Разряд и подразряд работ или таблица по СНиП II-4-79	Минимальная освещенность, лк		
		Комбинированное освещение		Одно общее освещение
		общее + + местное	от одного общего	
Коридоры, лестницы				
Главные коридоры	Табл. 2, п. 107, а	—	—	75(30)
Второстепенные коридоры	Табл. 2, п. 107, б	—	—	50(20)
Главные лестницы	Табл. 2, п. 105, а	—	—	100(30)
Второстепенные лестницы	Табл. 2, п. 106, б	—	—	50(20)

* Освещенность в вертикальной плоскости на панели камеры, щита.

Примечания: 1. После цифр и букв, указывающих разряд и подразряд зрительных работ, обозначения +1 и −1 указывают, что освещенность увеличена или уменьшена на одну ступень по шкале освещенностей, приведенной в СНиП II-4-79.

2. Значения освещенностей, указанные в скобках, относятся к осветительным установкам с лампами накаливания.

Питающая сеть — сеть, питающая осветительные распределительные пункты, групповые щитки и пункты питания наружного освещения.

Групповая сеть — сеть, питающая светильники внутреннего освещения и розетки.

Распределительная сеть наружного освещения — сеть, питающая осветительные приборы наружного освещения.

Пункт питания наружного освещения — электрическое распределительное устройство с аппаратами защиты и управления (или только защиты) для соединения распределительной сети наружного освещения с источником питания.

Магистральный щиток (пункт) — электрическое распределительное устройство с аппаратами защиты и управления (или только защиты) для линий питающей осветительной сети.

Групповой щиток — электрическое распределительное устройство с аппаратами защиты и управления (или только защиты) для линий групповой осветительной сети.

Понижающий трансформатор — трансформатор для питания освещения малым напряжением (до 42 В).

4.2. НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В табл. 4.1 указаны нормы освещенности для некоторых помещений производственных зданий. Нормы соответствуют требованиям гл. II-4—79 СНиП [39]. Для большинства помещений значения освещенности даны для осветительных установок с разрядными лампами (люминесцентными, ртутными типа ДРЛ, металлогалогенными типа ДРИ и ДРИЗ, натриевыми высокого давления типа ДНаТ), как наиболее экономичными источниками света, широко применяемыми в производственных зданиях; только для некоторых помещений, где могут оказаться целесообразными лампы накаливания, в скобках указаны также освещенности для ламп накаливания.

Для помещений, в которых могут применяться системы как комбинированного освещения (общего и местного), так и одного общего освещения, в табл. 4.1 приводится значение освещенности для обеих этих систем. Если же применяется только одна из них, освещенности указаны для этой системы, а для другой сделаны прочерки.

Более подробные сведения по нормам освещенности, нормированию качественных характеристик и другие сведения по светотехнической части осветительных установок приводятся в отраслевых нормах искусственного освещения и в светотехнических справочниках [38].

4.3. ВЫБОР СВЕТИЛЬНИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СРЕДЫ

Конструкция светильников должна обеспечивать надежную защиту всех их частей от вредных воздействий окружающей среды,

Таблица 4.2. **Минимально допустимая степень защиты стационарно устанавливаемых светильников для пожароопасных и взрывоопасных зон**

Зоны	Светильники с лампами*[1]		
	накаливания*[2]	ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	люминесцентными
Пожароопасные			
П-I, П-II	IP53	IP53	5′3
П-IIа; П-II при наличии местных нижних отсосов отходов и общеобменной вентиляции; П-III	2′3	IP23*[3]	IP23
Взрывоопасные			
В-I	Взрывоопасные		
В-Iа, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва		
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53		
В-II	Повышенной надежности против взрыва*[4]		
В-IIа	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53		

*[1] Допускается изменение степени защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники.

*[2] При наличии сплошного силикатного стекла, защищающего лампу. Светильники не должны иметь отражателей и рассеивателей из сгораемых материалов.

*[3] Конструкция светильников должна исключать выпадение из них ламп.

*[4] При условии, что температуры поверхности светильников, на которые могут оседать горючие пыли или волокна, будут не менее чем на 50 °С ниже температуры пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры воспламенения для нетлеющих пылей.

Примечания: 1. Отдельно устанавливаемые пускорегулирующие аппараты (ПРА) для разрядных ламп (люминесцентных, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) должны иметь для всех пожароопасных зон степень защиты не ниже IP44.

2. В пожароопасных зонах всех классов складских помещений светильники с люминесцентными лампами не должны иметь отражателей и рассеивателей из горючих материалов.

электро-, пожаро- и взрывоопасность, надежность, долговечность, стабильность светотехнических характеристик в данных условиях. Наиболее высокие требования предъявляют к светильникам, устанавливаемым в пожаро- и взрывоопасных зонах. В табл. 4.2 приводятся минимально допустимые степени защиты по ГОСТ 17677—82Е, ГОСТ 14254—80 и ГОСТ 12.2.020—76 *. При выборе светильников в таких помещениях необходимо, кроме того, учитывать конкретные условия среды в местах установки.

Для взрывоопасных зон кроме установки светильников в самих помещениях могут применяться следующие способы освещения:

щелевыми светильниками — световодами;

светильниками, вынесенными за пределы опасной среды и устанавливаемыми за остеклением окон, ниш или отверстий в стенах или потолках;

продуваемыми светильниками или светильниками, установленными в продуваемых коробах.

Переносные светильники для пожароопасных и взрывоопасных зон должны иметь минимальную степень защиты:

в пожароопасных зонах всех классов IP54 стекло светильника должно быть защищено металлической сеткой;

во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа, В-II — взрывобезопасное;

во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-Iг, В-IIа — повышенной надежности против взрыва.

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIа переносные светильники, кроме того, должны удовлетворять следующим требованиям: температура поверхностей светильников, на которые могут оседать горючие пыли или волокна, должна быть не менее чем на 50 °С ниже температуры пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры воспламенения нетлеющих пылей.

При выборе конструктивного исполнения светильников во всех случаях, включая пожаро- и взрывоопасные зоны, необходимо руководствоваться следующими общими указаниями и рекомендациями.

Для помещений особо сырых, с химически активной средой и вне зданий должны, как правило, применяться светильники со степенью защиты не ниже IP53 или 5′3, но более предпочтительны IP54, 5′4; в особо пыльных производствах с гидроудалением пыли — не ниже IP55, 5′5.

В жарких помещениях могут применяться светильники с любой степенью защиты, но следует избегать светильников со сплошными защитными стеклами.

В пыльных помещениях целесообразны степени защиты светильников IP60, 6′0 или IP50, 5′0, в зависимости от характера и количества пыли; при пыли, не пропускающей ток, в виде исключения допускается IP20.

В помещениях пыльных и с химически активной средой наряду со светильниками с соответствующими степенями защиты рекомендуются зеркальные лампы накаливания, зеркальные лампы ДРИЗ и рефлекторные люминесцентные лампы в открытых светильниках, пригодных для данных условий.

Для помещений с большим содержанием пыли, дыма, копоти и с химически активной средой рекомендуются светильники с такими конструктивными схемами и из таких материалов, которые в наименьшей степени подвергаются запылениям и загрязнениям, лучше восстанавливают светотехнические характеристики после многократной очистки и более стойки к химическим воздействиям. В соответствии с этим светильники классифицируют:

а) по степени запыления с различными конструктивными схемами: с плоскими или выпуклыми стеклами с уплотнением на выходном отверстии светильника; с замкнутыми защитными стеклами с уплотнением, без отражателей; то же, но с отражателем; открытые, с отверстиями в верхней части для естественной вентиляции; то же без отверстий для вентиляции; со сплошным защитным стеклом, соединенным с корпусом или отражателем без уплотнения; с экранирующей решеткой;

б) отражающие и пропускающие свет поверхности и материалы по степени восстанавливаемости светотехнических характеристик после чисток: силикатная эмаль; стеклянное зеркало; силикатное стекло; алюминий альзакированный или химически выделенный; сталь алюминированная; стекло органическое; эмали (кроме силикатной) и краски; поверхности, алюминированные в вакууме;

в) по степени стойкости к химическим воздействиям: фарфор; силикатное стекло; пластмассы; поверхности, покрытые силикатной эмалью; стекло органическое; алюминий; сталь и чугун.

ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ КОМПЛЕКТНЫМИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ (КОУ) С ЩЕЛЕВЫМИ СВЕТОВОДАМИ

Щелевой световод (ЩС) (рис. 4.1) представляет собой полую цилиндрическую трубу *1* длиной от нескольких до десятков метров (канал световода), бо́льшая часть внутренней

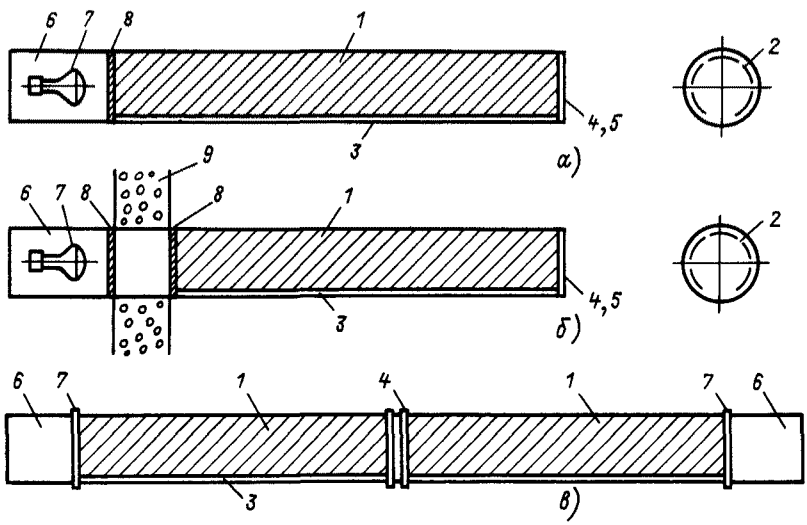


Рис. 4.1. Комплектные осветительные устройства (КОУ) с щелевыми световодами:
а — вводное устройство в освещаемом помещении; *б* — вводное устройство вынесено из освещаемого помещения; *в* — состыкованная установка двух щелевых световодов; *1* — трубчатый канал щелевого световода; *2* — зеркально отражающая часть внутренней поверхности канала; *3* — светопропускающая часть канала (оптическая щель); *4* — натяжное устройство (для эластичных каналов); *5* — торцевой зеркально отражающий элемент; *6* — вводное устройство; *7* — источник света; *8* — прозрачный иллюминатор; *9* — стена помещения

поверхности которого покрыта зеркальио отражающим слоем *2*. Световой поток одного или нескольких источников света, установленных в вводном устройстве *6*, направляется в канал световода и выходит из него равномерно по всей длине канала через светопропускающую часть канала (оптическую щель) *3*, не покрытую светоотражающим слоем. Для повышения КПД ЩС в его торце размещается зеркальный светоотражающий элемент *5*, отделение источиика света от канала достигается установкой на вводном устройстве прозрачных иллюминаторов *8* из термостойкого силикатного стекла.

Каналы ЩС могут быть мягкими и жесткими. Мягкие каналы изготовляют из полос специальной полиэтилентерефталатной зеркалированной и светорассеивающей пленки, свариваемых или склеиваемых для образования трубчатого канала. Диаметр мягких каналов может достигать 1 м. Для придания цилиндрической формы мягкому ЩС его оболочка предварительно натягивается с помощью закрепленного в коице каиала натяжного устройства *4* и наполняется воздухом, подаваемым в канал под небольшим избыточным давлением через отверстия в иатяжном устройстве.

Жесткие каналы ЩС диаметром до 300 мм изготовляют нз пластмассы способом экструдирования или из алюминия.

В качестве источников света для КОУ с ЩС используются преимущественно зеркальные разрядные металлогалогеиные лампы типа ДРИЗ, металлогалогенные лампы — фары типа ЛФМГ или зеркальные лампы накаливания, которые применяются в основном для аварийного и эвакуационного освещения. Пускорегулирующие аппараты (ПРА) для разрядиых ламп размещаются, как правило, во вводных устройствах.

Щелевые световоды имеют преимущество перед светильииками, заключающееся в существенном сокращении количества источников света в осветительных установках и уменьшении мест их установки благодаря использованию в ЩС ламп большой единичной мощности и возможности размещения во вводном устройстве нескольких ламп. Применение ЩС наиболее целесообразно для помещений со взрывоопасными зонами; при этом вводные устройства с источниками света и ПРА выносятся из взрывоопасных зон в смежные невзрывоопасные помещения или на наружную стену здания (рис. 4.1, *б*).

КОУ со ЩС мягкими каналами изготовляются диаметром канала 275 мм длиной 6 м и диаметром 600 мм длиной 18 м, степень защиты вводных устройств IP54. При необходимости указанные длиы каналов могут быть уменьшены путем их укорочення, а если необходимая длиа канала оказывается больше, чем у изготавливаемых ЩС, можно состыковать два световода с установкой вводных устройств на противоположных концах каиалов и удалением торцевых зеркальных отражателей (рис. 4.1, *в*).

КОУ со ЩС с жесткими алюминневыми каналами диаметром 140 мм длиной 1 м для одиой зеркальной лампы иакаливаиия 300 Вт изготовляют заводы Главэлектромонтажа ММСС СССР. Они предназначены для производственных помещений предприятий фотохимической промышленности и других аналогичных помещеиий, освещаемых светом, не влияющим на светочувствительные материалы. В этих КОУ предусмотрена возможность установки светофильтров, обеспечивающих иеобходимую цветность выходящего из ЩС светового потока.

4.4. РАСЧЕТНЫЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

Расчетная нагрузка внутреииего освещения здаиий всех назначений (кроме квартирных жилых домов) и наружного освещеиия P определяется по установлеиию мощности освещения $P_у$ и коэффициенту спроса $K_с$, равному отношению расчетной длительиой иагрузки к установлеиию мощности:

$$P = P_у K_с. \qquad (4.1)$$

Установлеиная мощность $P_у$, кВт, определяется суммированием:

мощности ламп всех стациоиарных светильников, питаемых иапряжением более 42 В; при этом для учета потерь в пускорегулирующих аппаратах разрядиых ламп (ПРА) мощность люминесцентных ламп умножается на 1,2, ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ до 400 Вт включительно — на 1,1 и более 400 Вт — на 1,05;

мощности поиижающих трансформаторов, питающих осветительиые устаиовки малым напряжением (до 42 В);

мощности переносных электроприемников, присоединяемых к розеткам, питаемым напряжением более 42 В. В зданиях и помещениях административио-бытовых, инженерио-лабораториых, проектно-конструкторских, учебиых установленная мощность каждой розетки, присоединяемой к осветительной сети, принимается в среднем 60 Вт.

При определении P иа вводе в здание и для линий питающей сети внутреннего освещения значение $K_с$ принимается по табл. 4.3.

При расчете групповой сети рабочего освещения, питающей и групповой сети аварий-

Таблица 4.3. **Значения K_c для питающей сети внутреннего освещения и вводов осветительной сети в здания**

Здания или группы помещений	K_c
Небольшие производственные здания	1
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из многих отдельных помещений	0,85
Административно-бытовые, инженерно-лабораторные здания и помещения, проектно-конструкторские организации, учебные заведения, предприятия общественного питания	0,8
Складские здания и помещения, состоящие из многих отдельных помещений, электрические подстанции	0,6
Линии питающей сети к одному групповому щитку в зданиях и помещениях всех назначений	1

ного, эвакуационного и наружного освещения принимают $K_c=1$.

Расчетная нагрузка от электроприемников, присоединяемых к розеткам, питаемым от осветительной сети в зданиях и помещениях административно-бытовых, инженерно-лабораторных, проектно-конструкторских, учебных,

$$P_{рр}=0{,}06nK_{ср}, \qquad (4.2)$$

где $P_{рр}$ — расчетная нагрузка розеточной сети, кВт; n — число розеток; $K_{ср}$ — коэффициент спроса для розеток, принимаемый для ввода в здание 0,1, для линий питающей сети 0,2, для линий групповой сети 1.

Расчетная нагрузка на понимающие трансформаторы со вторичным напряжением до 42 В определяется как сумма мощностей всех стационарно установленных светильников и нагрузки переносного освещения из расчета 40 Вт на одну розетку с коэффициентом спроса 0,5—1 (в зависимости от ожидаемого использования переносного освещения).

Расчетная нагрузка освещения, встроенного в камеры распределительных устройств, щиты, шкафы, определяется исходя из одновременного включения освещения в двух-трех камерах, панелях, шкафах в каждом ряду.

При определении расчетных нагрузок от осветительных установок на трансформаторы подстанций учитывается коэффициент мощности для ламп накаливания 1,0; для люминесцентных ламп 0,9; для разрядных ламп высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) — без компенсации реактивной мощности 0,5 или 0,35; с компенсацией — 0,9 (см. § 4.9).

Б. ИСТОЧНИКИ И СХЕМЫ ПИТАНИЯ

4.5. ВЕЛИЧИНЫ, УРОВНИ И ПОСТОЯНСТВО НАПРЯЖЕНИЯ

НАПРЯЖЕНИЕ СЕТЕЙ ОБЩЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Для светильников общего освещения должно применяться напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали и не выше 220 В переменного тока при изолированной нейтрали и постоянном токе. Для питания отдельных ламп следует применять, как правило, напряжение до 220 В. В помещениях без повышенной опасности указанное напряжение может применяться для всех стационарных светильников независимо от высоты их установки.

Для разрядных ламп-ксеноновых, ртутных ДРЛ, металлогалогенных ДРИ, натриевых ДНаТ и люминесцентных, рассчитанных для включения совместно с ПРА на напряжение выше 220 В, допускается использовать напряжение до 380 В, в том числе фазное напряжение системы 660/380 В с заземленной нейтралью при соблюдении следующих условий:

а) ввод в светильник и ПРА должеи выполняться проводами или кабелями с изоляцией на напряжение не менее 660 В;

б) одновременное отключение всех фазных проводов. Это требование распространяется также на случаи, когда в многоламповый светильник с лампами любых типов (в том числе с лампамн накаливания) вводятся провода нескольких фаз системы 380/220 В, за исключением светильников, устанавливаемых в помещениях без повышенной опасности;

в) нанесение на светильники в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных хорошо различимых знаков с указанием применяемого напряжения (380 В).

Ввод в светильник и ПРА двух и трех фаз системы 660/380 В запрещается.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при высоте установки све-

тильников общего освещения с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ над полом или площадкой обслуживаиия менее 2,5 м необходимо применять светильники, конструкция которых исключает возможиость доступа к лампе без применения инструмента (отвертки, плоскогубцев, гаечного или специального ключа и др.), с вводом в светильник подводящей электропроводки в металлических трубах, металлорукавах или защитных оболочках кабелей либо использовать для питания светильников с лампами накаливания напряжение не выше 42 В.

Требование о недоступности ламп без применения инструмента не распространяется на светильники в электропомещениях, а также на светильиики, обслуживаемые с кранов или площадок квалифицированным персоналом. При этом расстоянне от светильников до настила моста крана должно быть не менее 1,8 м или светильники должны быть подвешены ие ниже нижнего пояса ферм перекрытия, а обслужнвание их с кранов должно выполняться с соблюдением требований техники безопасиости.

Светильиики с люмииесцентиыми лампами иа иапряжение выше 42 В могут устанавливаться на высоте до 2,5 м от пола.

Напряжение сетей местиого освещеиия. Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должно применяться напряжение: в помещения без повышенной опасности ие выше 220 В и в помещениях с повышенной опасиостью и особо опасных не выше 42 В.

Светильники с люминесцентными лампами на напряжение выше 42 В допускается применять для местного освещения при условии недоступности их токоведущих частей для случайных прикосновений. Этому требованию фактически удовлетворяют все выпускаемые светильники.

В помещениях сырых, особо сырых, жарких и с химически активной средой применение люминесцентных ламп для местного освещения допускается только в арматуре специальной конструкции.

Напряжение для переиосных светильиков. Для ручных переносных светильников, питаемых от сети, должно применяться напряжение не выше 42 В. При наличии особо неблагоприятных условий, когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большнми металлическнми хорошо заземленными поверхностями (например, работа в котлах), для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

Переносные светнльннки, предназначенные для подвешивания, настольные, напольные и т. п. приравниваются при выборе напряжения к светильникам местного стационарного освещения, а светильники, устанавливаемые на переставных стойках на высоте не менее 2,5 м,— к светильникам общего освещения.

При выборе номинальных значений малого напряжения для светильников с лампами накаливания необходимо иметь в виду следующее: по ПУЭ напряжение 42 В является для электроустановок наибольшим значением малого напряжения. До 1987 г. для осветительных установок, питаемых малым иапряжением, были широко распространены лампы накаливания на 36 В. По ГОСТ 21128—83, регламентирующему номинальные величины напряжения для источников, приемников электроэнергии и электрических сетей, одно из значений номинального напряжения для источников составляет 42 В, для электроприемников и сетей 40 В. Это требование указанного стандарта привело к необходимости выпуска понижающих трансформаторов с вторичиым напряжением 42 В и ламп накаливания на 40 В. В связи с этим в практике проектироваиия, монтажа и эксплуатации электрического освещения в течеине нескольких ближайших лет для осветительных сетей и ламп накаливания будет применяться намнналыное иапряжеиие как 36, так и 40 В.

Уровии и колебания иапряжеиия. Напряжение у ламп накаливания, а для разрядных ламп у их пускорегулирующих аппаратов (ПРА) должно быть не менее 95 и не выше 105 % их номинального значения.

Исходя из указанного минимально допустимого напряжения у ламп в табл. 4.4 приведены максимально допустимые потери напряжения в осветнтельной сети, завнсящие от мощности и коэффициента загрузки трансформатора и коэффициента мощности нагрузки, при котором работает трансформатор.

Не следует смешнвать указанное выше наибольшее допустимое снижение напряжения у ламп до 95 % номинального с допустимыми потерями напряжения в осветительных сетях, приведенными в табл. 4.4. Разница между этими понятиями заключается в следующем. Снижение напряжения у ламп на 5 % означает, что, например, для ламп на номинальное напряжение 220 В допустимое снижение составляет

$$220 \cdot 5/100 = 11 \text{ В}.$$

Следовательно, напряжение на лампе не должно быть меньше

$$220 - 11 = 209 \text{ В}.$$

Если номинальное напряжение сети равно 380/220 В, то на подстанцнях устанавлнвают-

Таблица 4.4. **Допустимые потери напряжения в осветительных сетях**

Мощность трансформатора, кВ·А	Коэффициент загрузки трансформатора	Потери напряжения в осветительной сети, %, при коэффициенте мощности нагрузки трансформатора					
		1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6
160—250	0,95	8,4	7,4	6,7	6,5	6,1	5,9
	0,8	8,6	7,8	7,3	7	6,7	6,6
	0,6	9	8,4	7,9	7,7	7,5	7,4
400	0,95	8,7	7,5	6,8	6,5	6	5,8
	0,8	8,9	7,9	7,5	7,1	6,8	6,6
	0,6	9,1	8,4	8,2	7,8	7,6	7,5
630—1000	0,95	8,7	7,4	6,7	6	5,5	5,1
	0,8	9	7,7	7,3	6,7	6,3	6
	0,6	9,2	8,3	8	7,5	7.2	7
1600—2400	0,95	8,9	7,4	6,9	6,1	5,6	5,2
	0,8	9,1	7,8	7,4	6,8	6,3	6,1
	0,6	9,3	8,4	8	7,6	7,2	7

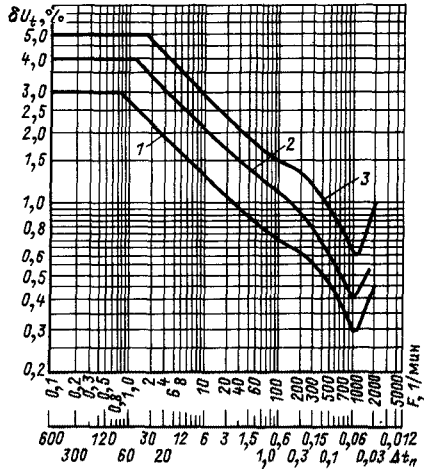


Рис. 4.2. Допустимые размахи изменений напряжения у ламп δU_t, %, в зависимости от частоты Δt и интервала между измененнямн напряжения:

1 — лампы накаливания в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение; *2* — лампы иакаливания в остальных помещениях, в том числе в жилых зданиях; *3* — разрядные лампы всех типов

ся трансформаторы с номинальным напряжением прн холостом ходе (без иагрузки) 400/230 В. Прн этом разность фазных напряжений на шинах подстанции и на наиболее удаленной лампе оказывается равной

$$230-209=21 \text{ В, или } 21\cdot 100/220=9{,}5\ \%.$$

Допустимая потеря напряжения в осветнтельной сети определяется вычнтанием из указанной выше разности значения потерн напряжения в обмотках трансформатора, зависящего от его мощности, степени загрузки, коэффициента мощности питаемых трансформатором потребителей и некоторых других условий. Практически потеря напряжения в трансформаторах колеблется от 4,5 до 1,5 %, что обусловливает допустимую потерю напряжения в осветительной сети от 5 до 9 %.

Наибольшее напряжение на контактах ламп, как правило, не должно быть более 105 % номинального напряжения ламп или ПРА разрядных ламп. Для обеспечения надежной работы разрядных ламп напряжение на их контактах (или на ПРА) не должно быть ниже 90 % номинальиого.

В сетях малого напряжения (до 42 В) допускается потеря напряжения до 10 %, считая от выводов низкого напряжения понижающих трансформаторов.

Допустимые размахи изменеиий напряжения у ламп осветнтельных установок определяют по рис. 4.2 в зависимости от их частоты или интервалов между изменениями напряжения. Это требоваиие не распространяется на лампы местного освещения, обслуживающие какой-либо механизм, если резкие изменения напряжения связаны с работой электродвигателя этого механизма.

4.6. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пнтание электрического освещения, как правило, производится от общих для осветительных и силовых нагрузок трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В (напряженне сети 380/220 В). Допускается пнтание от силовых трансформаторов с низшим напряжением 690/400 В (напряжение сети 660/380 В) при заземленной нейтрали при условнн, что применяемые светильники и лампы предназначены для пнтания напряжением 380 В (см. § 4.5).

Самостоятельные осветительные трансформаторы применяются:

а) если характер силовой нагрузки не

позволяет обеспечивать требуемое качество напряжения у ламп (см. § 4.5), например, при питании от траисформатора мощиых сварочных аппаратов;

б) при большой плотности осветительной нагрузки, если может быть экономически оправдана установка осветительных трансформаторов;

в) если для силовой нагрузки принимается напряжение более 380/220 В, иапример 660/380 В, и при этом в осветительных установках используются светильники, не предназначенные для питания напряжением 380 В. В таких случаях должен производиться технико-экономически обоснованный выбор между питанием осветительных трансформаторов от сети высокого напряжения 10(6) кВ или от силовых трансформаторов 690/400 В.

Не рекомендуется использование для питания электрического освещения траисформаторов, работающих в блоке с технологическими механизмами и отключаемых при остановке этих механиизмов на ремонт. При неизбежности питания от таких трансформаторов следует предусматривать возможность продолжения питания освещения при отключении подстанции путем устройства перемычки между щитами двух ближайших подстанций.

В связи с тем что разрядные лампы, включаемые в сеть с индуктивными или индуктивно-емкостными ПРА, вызывают протекание значительных токов высших гармоиик в нулевых проводах трехфазных четырехпроводных лнннй (см. § 4.9), при выборе схем соединений обмоток трансформаторов необходимо руководствоваться следующими указаниями:

если нагрузка на трансформатор от разрядных ламп (с потерями в ПРА) превышает 25 % его номинальной мощности, должны применяться трансформаторы со схемой соединений обмоток «треугольник-звезда с нулем», при которой допустимая токовая нагрузка нулевого вывода стороны низкого напряжения составляет 75 % тока фазных выводов;

при нагрузке на трансформатор от разрядных ламп (с потерями в ПРА) менее 25 % его номинальной мощности может применяться трансформатор со схемой соединений обмоток «звезда — звезда с нулем», допустимая токовая нагрузка нулевого вывода которого составляет 25 % тока фазных выводов.

Питание светильников, требующих применения малого напряжения (до 42 В), должно производиться от трансформаторов с электрически разделенными обмотками высокого и низкого напряжения. Один вывод, средняя точка или нейтраль обмотки низшего напряжения трансформатора должны быть заземлены или занулены.

ПИТАНИЕ АВАРИЙНОГО И ЭВАКУАЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Светильники рабочего и аварийного освещения в производственных и общественных зданиях и в зонах работы на открытых пространствах должны питаться от иезависимых источников. Допускается питание рабочего и аварийного освещения от разных трансформаторов одной двухтрансформаторной подстанции при питании траисформаторов от двух независимых источников.

В общественных зданиях при отсутствии независимых источников питания аварийного освещения допускается осуществлять от трансформатора, не используемого для питания рабочего освещения.

Светильники эвакуационного освещения в производственных зданиях с естествеиным освещением, а также светильники эвакуационного освещения в общественных и жилых зданиях (независимо от наличия или отсутствия в них естественного освещения) должны быть присоединены к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита подстанции или магистрального щитка (распределительного пункта) освещения, а при наличии только одиого ввода в здаиие или в зону работы на открытом пространстве — начиная от этого ввода.

Светильники эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения должны быть присоединены к отдельному независимому источнику питания или автоматически на него переключаться при отключении источника питания рабочего освещения, если в нормальном режиме эвакуационное освещение питается от источника, используемого для рабочего освещения.

В производственных зданиях без естественного освещения, где может одновременно находиться 100 человек и более, независимо от наличия или отсутствия аварийиого освещения должно предусматриваться эвакуациоиное освещение по основным проходам, переключаемое при прекращении его питания, на независимый внешний или местный источник (аккумуляторная батарея, двигатель-генераторная установка), не используемый в нормальном режиме для питания рабочего, аварийного и эвакуационного освещения.

Использование электросиловых сетей для питания общего рабочего, аварийного и эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения не допускается.

Световые указатели эвакуационных или запасных выходов в зданиях любого назначения, снабжеиные автономными источниками

питания, в нормальном режиме могут питаться от сетей любого вида освещения, не отключаемых во время функционирования здания.

Для помещений, в которых постоянно находится обслуживающий персонал или которые предназначены для постоянного прохода персонала или посторонних лиц, должна быть обеспечена возможность включения аварийного и эвакуационного освещения в течение всего времени, когда включено рабочее освещение, или аварийное и эвакуационное освещение должно включаться автоматически при аварийном погасании рабочего освещения.

При технической нецелесообразности питания аварийного и эвакуационного освещения в соответствии с приведенными выше требованиями вместо стационарного аварийного и эвакуационного освещения допускается применение ручных световых приборов с аккумуляторами или сухими элементами.

4.7. СХЕМЫ ПИТАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При выборе схем питания освещения зданий должны учитываться:

а) требуемая степень надежности питания (§ 4.6);

б) регламентируемые уровни и постоянство напряжения у источников света (§ 4.5);

в) простота и удобство эксплуатации;

г) требования к управлению освещением (§ 4.10);

д) экономичность установки.

Питающие сети для освещения и силового электрооборудования рекомендуется выполнять, как правило, раздельными. Совмещение питающих сетей целесообразно при использовании в качестве питающих линий в крупных производственных и общественных зданиях магистральных шинопроводов, при небольшой мощности аварийного и эвакуационного освещения и для зданий, электроснабжение которых производится от отдельно стоящих подстанций.

На рис. 4.3—4.10 приведены наиболее характерные схемы питания освещения производственных зданий. При рассмотрении этих схем необходимо иметь в виду следующие их особенности и некоторые другие условия:

а) на схемах в качестве аппаратов защиты и местного включения линий питающей сети показаны автоматические выключатели как наиболее распространенные для этих целей аппараты. Однако вместо автоматических выключателей могут использоваться плавкие предохранители и ручные отключающие аппараты (рубильники, выключатели);

б) когда для линий питающей сети необходимо устройство дистанционного управления, в дополнение к аппарату защиты в каждый управляемой линии устанавливают аппарат управления, например магнитный пускатель, не показанный на приведенных схемах;

в) для питания освещения обычно бывает нецелесообразно использовать мощные автоматы КТП, пропускная способность которых значительно превышает нагрузку линий питающей осветительной сети. Поэтому вблизи КТП устанавливают магистральные щитки

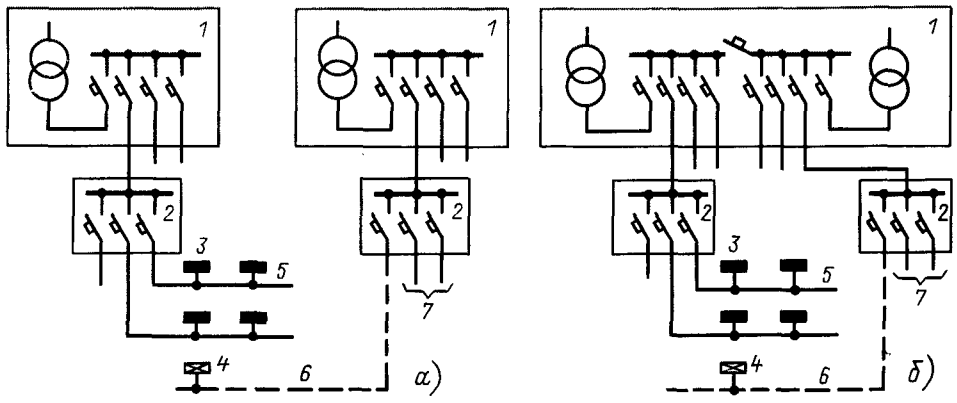


Рис. 4.3. Схемы питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения от КТП:
а — от двух однотрансформаторных КТП; *б* — от одной двухтрансформаторной КТП; *1* — КТП; *2* — магистральный щиток (пункт); *3* — групповой щиток рабочего освещения; *4* — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; *5* — линия питающей сети рабочего освещения; *6* — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения; *7* — питание рабочего освещения других участков здания или силовых потребителей

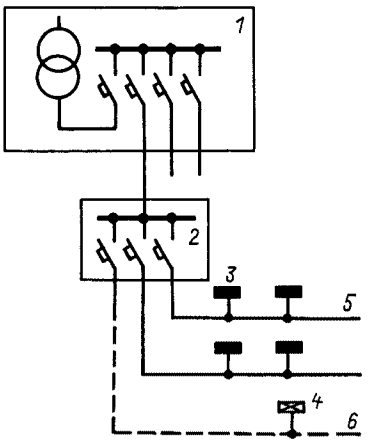


Рис. 4.4. Схема питания рабочего и эвакуационного освещения от однотрансформаторной КТП:
1 — КТП; *2* — магистральный щиток (пункт); *3* — групповой щиток рабочего освещения; *4* — групповой щиток эвакуационного освещения; *5* — линия питающей сети рабочего освещения; *6* — линия питающей сети эвакуационного освещения

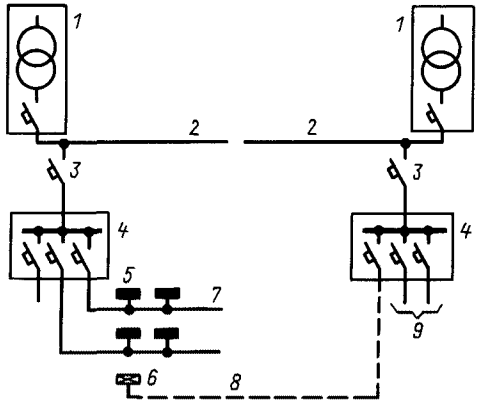


Рис. 4.6. Схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения от двух магистральных шинопроводов:
1 — КТП; *2* — магистральный шинопровод; *3* — автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; *4* — магистральный щиток (пункт); *5* — групповой щиток рабочего освещения; *6* — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; *7* — линия питающей сети рабочего освещения; *8* — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения; *9* — питание рабочего освещения других участков здания или силовых потребителей

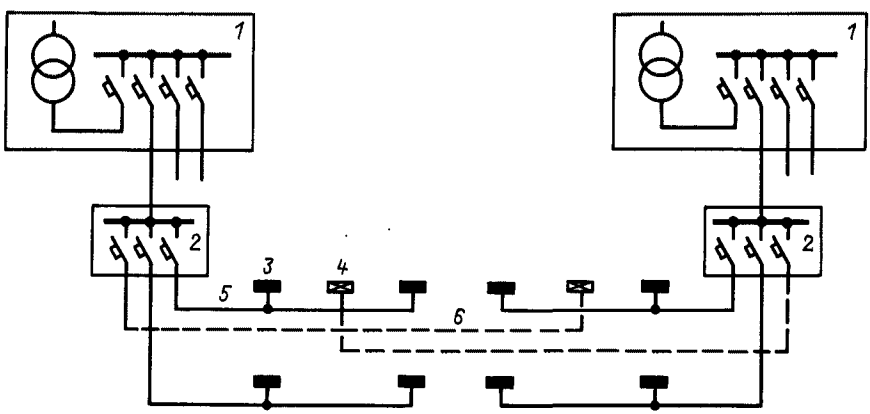


Рис. 4.5. Схема перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения:
1 — КТП; *2* — магистральный щиток (пункт); *3* — групповой щиток рабочего освещения; *4* — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; *5* — линия питающей сети рабочего освещения; *6* — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения

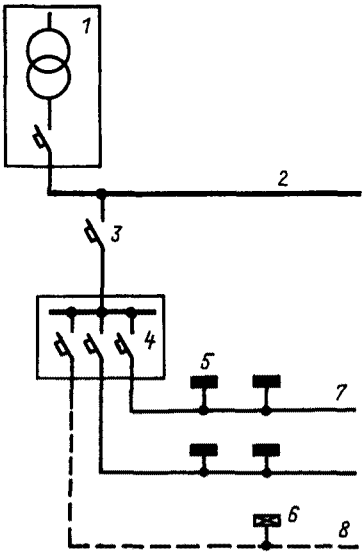


Рис. 4.7. Схема питания рабочего и эвакуационного освещения от одного магистрального шинопровода:
1 — КТП; *2* — магистральный шинопровод; *3* — автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; *4* — магистральный щиток (пункт); *5* — групповой щиток рабочего освещения; *6* — групповой щиток эвакуационного освещения; *7* — линия питающей сети рабочего освещения; *8* — линия питающей сети эвакуационного освещения

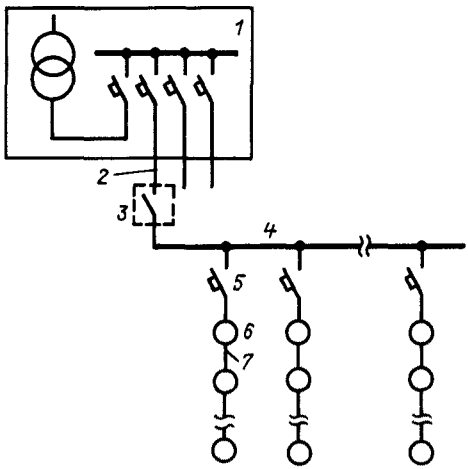


Рис. 4.8. Схема питания рабочего освещения от распределительного шинопровода:
1 — КТП; *2* — линия питающей сети рабочего освещения; *3* — выключатель или аппарат дистанционного управления; *4* — распределительный шинопровод; *5* — автоматический выключатель на шинопроводе; *6* — светильник общего рабочего освещения; *7* — групповая линия рабочего освещения

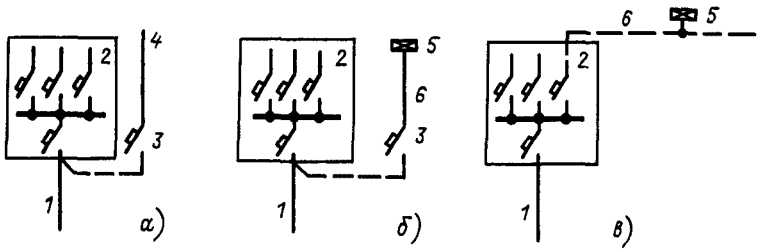


Рис. 4.9. Схемы питания аварийного и эвакуационного освещения от силовой сети:
а и *б* — ответвлениями от силовой сети; *в* — от силового распределительного пункта; *1* — линия силовой питающей сети; *2* — силовой распределительный пункт; *3* — автоматический выключатель; *4* — линия к светильникам аварийного (эвакуационного) освещения; *5* — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; *6* — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения

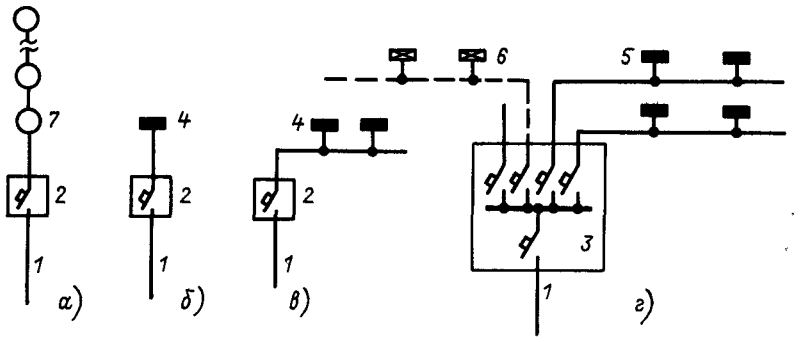


Рис. 4.10. Схемы питания освещения от вводов в здания:
а — питание светильников непосредственно от вводного устройства; *б* — питание от вводного устройства одного щитка; *в* — то же нескольких щитков рабочего или аварийного освещения; *г* — питание от вводно-распределительного устройства щитков рабочего и эвакуационного освещения; *1* — ввод в здание кабельной или воздушной линии; *2* — вводное устройство; *3* — вводно-распределительное устройство; *4* — групповой щиток рабочего или аварийного освещения; *5* — групповой щиток рабочего освещения; *6* — групповой щиток эвакуационного освещения; *7* — светильник рабочего или аварийного освещения

(пункты) с автоматическими выключателями на необходимые токи или при дистанционном управлении освещением щиты или ящики управления с магнитными пускателями и автоматами (см. § 4.11);

г) при питании одной линией четырех и более групповых щитков на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат. Для щитков, обслуживающих помещения без естественного освещения, установка аппаратов управления на вводе обязательна при питании одной линией трех щитков и более.

ПИТАНИЕ ОТ ВСТРОЕННЫХ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ (КТП)

Питание рабочего и аварийного освещения должно производиться от разных трансформаторов, присоединенных к независимым источникам (см. ПУЭ, § 1.2.10). Эвакуационное освещение предпочтительно питать также от независимого источника или при его отсутствии — от трансформаторов, не используемых для питания рабочего освещения; при невозможности или нецелесообразности такого питания эвакуационное освещение может питаться от общего трансформатора с рабочим освещением. На рис. 4.3, *а* приведена схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения от двух однотрансформаторных КТП, на рис. 4.3, *б* — от одной двухтрансформаторной КТП. На рис. 4.4 дана схема питания рабочего и эвакуационного освещения от общего трансформатора.

В производственных зданиях с несколькими встроенными КТП применяют схемы перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения (рис. 4.5), при которых рабочее освещение одних участков здания питается от одной КТП, а аварийное (эвакуационное) — от другой, трансформатор которой не используется для питания рабочего освещения. Тот же принцип питания используется и для других участков здания.

Во многих больших производственных зданиях питание силовых электроприемников осуществляется по магистральной схеме, при которой на КТП отсутствует распределительный щит, а к трансформаторам через мощные автоматы присоединяются магистральные шинопроводы. В таких случаях питание освещения производится ответвлениями от шинопроводов к магистральным щиткам (пунктам), от которых отходят линии питающей сети к групповым щиткам. Ответвления для питания освещения рекомендуется выполнять от начальных участков шинопровода, где потеря напряжения в шинопроводе еще невелика. На рис. 4.6 приведена схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения от двух магистральных шинопроводов, на рис. 4.7 — питание рабочего и эвакуационного освещения от одного шинопровода.

В цехах, где светильники устанавливаются на специальных светотехнических или электротехнических мостиках, применяют схемы питания освещения распределительными шинопроводами на 250, 400 и 600 А, прокладываемыми по мостикам (рис. 4.8). Групповые линии, питающие светильники, присоединяются к шинопроводу через автоматические выключатели, устанавливаемые на шинопроводе; при этом отпадает необходимость в установке групповых щитков. Включение освещения осуществляют выключателем или аппаратом дистанционного управления. Такую схему пита-

ния целесообразно применять для больших производственных помещений при значительной суммарной мощности светильников общего освещения и допустимости одновременного включения освещения больших участков цеха.

При небольшой мощности аварийного и эвакуационного освещения в целях упрощения и удешевления электроустановок бывает целесообразно не предусматривать для этих видов освещения самостоятельных линий от источников питания, а использовать линии силовой питающей сети. Характерные схемы питания от силовой сети приведены на рис. 4.9.

ПИТАНИЕ ОТ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ПОДСТАНЦИЙ

Освещение зданий, не имеющих встроенных подстанций, питается вводами от кабельных или воздушных линий, прокладываемых от ближайших подстанций. В зависимости от мощности освещения здания и наличия или отсутствия в нем аварийного освещения выполняют вводы в здание одной или нескольких питающих линий. Допускается питание освещения и силовых потребителей от общих вводов при условии, что работа силовых электроприемников не будет вызывать недопустимые колебания напряжения у светильников и снижение напряжения у них не превысит наибольших допустимых значений (см. § 4.5).

На вводе в здание каждой питающей линии устанавливают вводное или вводно-распределительное устройство с защитными и отключающими аппаратами (рис. 4.10). Для небольших зданий с несколькими светильниками рабочего или аварийного освещения групповые линии, питающие светильники, могут присоединяться непосредственно к вводному устройству (рис. 4.10, *а*). При значительной мощности освещения в здании устанавливают один (рис. 4.10, *б*) или несколько (рис. 4.10, *в*) групповых щитков, питающихся от вводного или вводно-распределительного устройства (рис. 4.10, *г*).

4.8. СХЕМЫ ПИТАНИЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Освещение разных по назначению и режимам работы участков территорий промышленных предприятий (проходы и проезды, охранное освещение, открытые склады, площадки для производства открытых работ и т. п.) питают самостоятельными линиями, начиная от магистральных щитков (пунктов), устанавливаемых на подстанциях или вблизи них. В зависимости от числа линий наружного освещения, отходящих от магистральных щитков, и мощности питаемого ими наружного освещения магистральные щитки могут быть общие с внутренним освещением или отдельные, предназначенные только для наружного освещения. Питание наружного освещения рекомендуется выполнять, как правило, трехфазными четырехпроводными линиями (три фазы и нуль).

Если светильники, установленные на каждой опоре, не защищены предохранителем или автоматом, то к одной трехфазной четырехпроводной линии можно присоединять не более 60 светильников с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ и не более 150 люминесцентных ламп, равномерно распределенных по фазам сети. Предохранители или автоматы для светильников каждой опоры требуется устанавливать в случаях, когда защитным аппаратом в начале линии защищается большее, чем указано выше, число ламп.

При прожекторном освещении у основания каждой мачты устанавливают вводное устройство с автоматом или выключателем и предохранителями, а на прожекторной площадке мачты щитки или ящики с аппаратами защиты и включения отдельных групп прожекторов.

На некоторых участках территории бывает необходимо оставлять в ночное время ограниченное число светильников (дежурное освещение). В таких случаях светильники дежурного освещения присоединяют к одной фазе линии, а остальные — к двум другим фазам. При этом предусматривается раздельное включение одной и двух других фаз.

4.9. ОСОБЕННОСТИ КОМПОНОВКИ И РАСЧЕТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Количество групповых щитков, присоединяемых к одной линии питающей сети, не ограничивается. При питании одной линией четырех и более групповых щитков на шесть групп и больше каждый на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат. Для щитков, обслуживающих помещения без естественного освещения, установка отключающих аппаратов на вводе обязательна при питании общей линией трех щитков и более. При щитках с автоматами в качестве вводных аппаратов рекомендуется использовать автоматы с комбинированными расцепителями на наибольший для данного автомата ток или без расцепителей.

КОЛИЧЕСТВО ЛАМП, ПИТАЕМЫХ ГРУППОВЫМИ ЛИНИЯМИ

Каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ (в это число включаются также розетки). Для групповых линий, питающих светильники с люминесцентными лампами, а также световые панели и карнизы с лампами любых типов, допускается присоединять до 50 ламп на фазу. Для линий, питающих многоламповые люстры, число ламп на фазу не ограничивается. В жилых и общественных зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания каждая мощностью до 60 Вт.

Номинальный ток аппаратов защиты групповых линий (установок автоматических выключателей, плавких вставок предохранителей) не должен быть выше 25 А. Для линий, питающих разрядные лампы мощностью 125 Вт и более, лампы накаливания напряжением до 42 В любой мощности и лампы накаливания напряжением выше 42 В мощностью 500 Вт и более допускается защищать плавкими вставками предохранителей или расцепителями автоматических выключателей на ток до 63 А. Ток аппаратов защиты групповых линий, питающих лампы мощностью 10 кВт и более, должен соответствовать току лампы. В последнем случае каждая лампа должна питаться отдельной групповой линией.

Наибольшая токовая нагрузка автоматических выключателей с тепловыми и комбинированными расцепителями магистральных и групповых щитков не должна превышать 90 % номинального тока расцепителя вследствие того, что температура воздуха в шкафу щитка может быть выше 25 °С, на которую калибруется расцепитель.

ФАЗИРОВКА СВЕТИЛЬНИКОВ В МНОГОФАЗНЫХ ЛИНИЯХ

В трехфазных четырехпроводных линиях при питании светильников фазным напряжением рекомендуется присоединять светильники к фазам в следующем порядке:

А, В, С, А, В, С — для внутреннего освещения при необходимости снижения пульсаций освещенности от разрядных ламп, а также в случаях, когда при отключении одной или двух фаз необходимо сохранить сниженную освещенность по всему помещению; для наружного освещения при необходимости дежурного освещения;

А,А, ..., В,В, ..., С,С... — при необходимости сохранить освещение на части площади помещения или на части длины освещаемой дороги на территории;

А,В,С,С,В,А — в остальных случаях.

В линиях, выполненных по системе две фазы с нулевым проводом, порядок присоединения светильников к фазам принимается аналогично указанному. При питании светильников линейным напряжением (без использования нулевого провода) присоединиение их к трехфазным линиям производится в порядке АВ, АС, ВС, АВ, АС, ВС.

Условия, учитываемые при расчете осветительных сетей.

При расчете сетей по допустимому току и потере напряжения учитывают коэффициент спроса, потери в ПРА разрядных ламп и коэффициент мощности (только при расчете по допустимому току) — см. § 4.4.

В нулевых проводах трехфазных четырехпроводных линий, питающих разрядные лампы, протекают токи высших гармоник, и нулевые провода следует выбирать из расчета протекания по ним тока, равного:

а) в линиях питающей сети при наличии компенсации реактивной мощности ($\cos\varphi \approx 0{,}9$) — току в фазном проводе; при отсутствии компенсации ($\cos\varphi \leqslant 0{,}5$) — 50 % тока в фазном проводе;

б) в групповых линиях при компенсированных ПРА ($\cos\varphi \approx 0{,}9$) — току в фазном проводе; при отсутствии компенсации, а также на некомпенсированных участках при трехфазном конденсаторе, подключенном к групповой линии (рис. 4.11), и трехполюсных защитном и отключающем аппаратах для групповой линии — 50 % тока в фазном проводе.

Приведенные выше указания о выборе сечения нулевого провода по току в фазном проводе не означают, что сечения этих проводов должны приниматься одинаковыми, поскольку сечения фазных проводов могут повышаться сверх требуемых по расчетному току по условиям допустимой потери напряжения и тогда сечения нулевых проводов можно принимать ниже сечения фазных.

В сетях с глухозаземленной нейтралью взамен четырехжильных кабелей допускается применять трехжильные с алюминиевой оболочкой, используемой в качестве нулевого провода при условии, что токовая нагрузка на оболочку не будет превышать 75 % допустимой нагрузки на фазные жилы.

При расчете осветительной сети по потере напряжения можно пренебрегать реактивным сопротивлением линий и пользоваться формулами (см. § 2.21) определения потери напряжения по моменту нагрузки, кВт·м, в следующих случаях: при $\cos\varphi = 1$ — всегда; при

$\cos\varphi = 0{,}9$ — при электропроводке кабелями, проводами в трубах или многожильными проводами сечением алюминиевых жил до 120 мм^2 и медных до 70 мм^2 включительно, а при прокладке одножильных проводов на изолирующих опорах сечением соответственно до 25 и 16 мм^2 включительно; при $\cos\varphi \approx 0{,}5 \div 0{,}6$ — при проводке кабелями, проводами в трубах и многожильными проводами сечением алюминиевых жил до 25 и медных до 16 мм^2 включительно, а при прокладке одножильных проводов на изолирующих опорах соответственно до 10 и 6 мм^2 включительно.

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В УСТАНОВКАХ С ЛАМПАМИ ДРЛ, ДРИ, ДНаТ

Светильники внутреннего освещения с разрядными лампами высокого давления (РЛВД), к которым относятся ртутные лампы типа ДРЛ, металлогалогенные ДРИ и металлогалогенные зеркальные ДРИЗ, натриевые ДНаТ, имеют независимые (отдельно устанавливаемые) или встроенные в светильник пускорегулирующие аппараты (ПРА) без конденсаторов для повышения коэффициента мощности. Комплект (лампа — ПРА) имеет $\cos\varphi$, равный или близкий к 0,5 при питании напряжением 220 В, и 0,35 — при 380 В.

Необходимость устройства компенсации реактивной мощности в осветительных установках с РЛВД определяется в индивидуальном порядке для каждого конкретного случая в зависимости от общего коэффициента мощности в системе электроснабжения предприятия, общей мощности РЛВД, питаемых отдельными трансформаторами, и некоторых других условий. Если общая мощность РЛВД, питаемых трансформатором, относительно невелика (десятки киловатт), то компенсация, как правило, не предусматривается.

Повышение $\cos\varphi$ в сетях напряжением 380/220 В до 0,9 производится подключением к каждой трехфазной групповой линии, питающей светильники с РЛВД, трехфазного конденсатора (рис. 4.11). Подсчитано, что для повышения $\cos\varphi$ с 0,5 или 0,35 до 0,9 на каждый киловатт мощности ламп с потерями в ПРА (см. § 4.4) необходима мощность трехфазного конденсатора соответственно 1,2 и 2,2 квар.

В пределах одного группового щитка на отдельных группах конденсаторы могут не устанавливаться, если конденсаторы, установленные на других группах, обеспечивают тре-

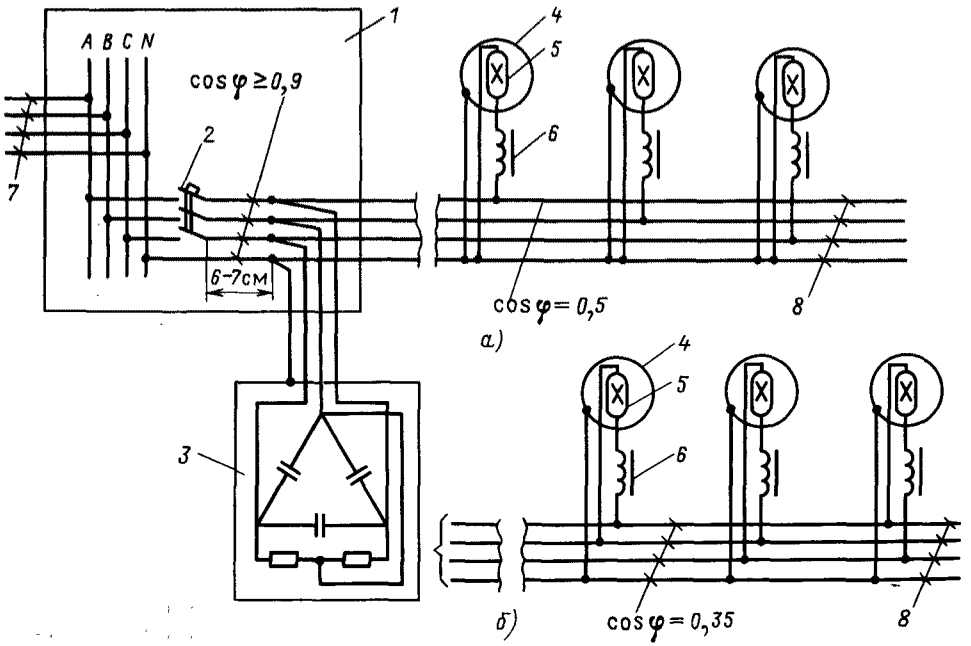


Рис. 4.11. Схема присоединения конденсатора к групповой линии при питании светильников напряжением:
а — 220 В; *б* — 380 В; *1* — групповой щиток; *2* — трехполюсный автомат группового щитка; *3* — трехфазный конденсатор; *4* — светильник; *5* — лампа; *6* — ПРА; *7* — линия питающей сети; *8* — линия групповой сети

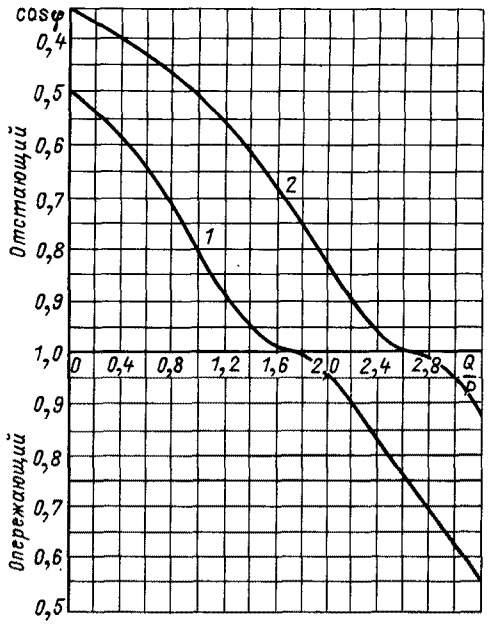


Рис. 4.12. График для определения коэффициента мощности в сетях напряжением 380/220 В с разрядными лампами высокого давления:
P — общая мощность ламп с потерями в ПРА, кВт; Q — мощность конденсаторов, квар; cos φ комплекта лампа — ПРА: *1* — 0,5; *2* — 0,35

буемый суммарный коэффициент мощности в целом по щитку или линии питающей сети.

Определение коэффициента мощности в зависимости от мощности применяемого конденсатора и суммарной мощности светильников, питаемых групповой линией, или определение необходимой мощности конденсатора в зависимости от мощности ламп, питаемых группой, производится по графику рис. 4.12. Графиком можно пользоваться также для определения cos φ отдельных линий питающей сети или cos φ от нагрузки РЛВД на трансформатор.

Комплектные конденсаторные установки с двумя, тремя и четырьмя трехфазными конденсаторами (§ 4.16) обычно устанавливают совместно с групповыми щитками. Ток, проходящий через автоматический выключатель, защищающий групповую линию (рис. 4.11), определяют при cos φ, полученном из графика рис. 4.12; ток в линии, питающей светильники, определяют при cos φ, равном 0,5 или 0,35; ток в ответвлении к конденсатору определяют по формуле $I=\frac{Q}{U_л\sqrt{3}}$, где Q — мощность конденсатора, квар; $U_л$ — линейное напряжение, В.

Вместо групповых щитков (пунктов) и устанавливаемых совместно с ними комплектных конденсаторных установок могут применяться распределительные пункты серии ПР41 с автоматами и встроенными в пункты трехфазными конденсаторами (см. табл. 4.9).

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНО- И ТРЕХПОЛЮСНЫХ АВТОМАТОВ

Для линий питающей сети внутреннего освещения и линий наружного освещения на магистральных щитках (пунктах), щитах и ящиках управления рекомендуется применять трехполюсные автоматические выключатели, которые для групповых линий необходимы в случаях подключения к группам трехфазных конденсаторов для повышения cos φ и для трехфазных, групповых линий, питаемых напряжением 660/380 В (см. § 4.5) независимо от наличия или отсутствия конденсаторов для повышения cos φ. Трехполюсные автоматические выключатели рекомендуются также для линий, питающих трехфазные понижающие трансформаторы, и для трехфазных групповых линий малого напряжения, отходящих от трехфазных понижающих трансформаторов.

Во всех остальных случаях для групповых линий на групповых щитках рекомендуется применять однополюсные автоматические выключатели.

В. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ

4.10. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Применяемые способы управления внутренним и наружным освещением промышленных предприятий и области применения указаны в табл. 4.5. В качестве аппаратов управления разрешается использовать автоматические выключатели групповых и магистральных щитков.

В сетях с заземлением нейтралью аппараты управления устанавливают во всех фазных проводах. Во взрывоопасных зонах класса В-I в двухпроводных однофазных групповых линиях должно предусматриваться одновременное отключение фазного и нулевого проводов.

Таблица 4.5. **Способы управления освещением**

Управление	Способ осуществления	Область применения
Местное *[1]	Установка аппаратов управления вблизи освещаемых объектов: в освещаемых помещениях или перед входами в них, у рабочих мест для местного освещения, на отдельных участках территории	Небольшие и средние по размерам помещения; большие помещения при включении освещения частями, местное освещение. Освещение участков территории, включаемое периодически, площадки наружных работ, погрузочно-разгрузочные участки, открытые склады и т. п.
Централизованное *[2]	Установка аппаратов управления в линиях питающей сети внутреннего освещения и в линиях наружного освещения; на шинах подстанций, магистральных щитках, на вводах в здания, на ответвлениях от магистральных шинопроводов. Использование вводных автоматических выключателей групповых щитков	Большие производственные помещения, общее освещение которых включается и отключается одновременно. Освещение небольших территорий. Освещение отдельных участков территорий, включаемое периодически, площадки наружных работ, погрузочно-разгрузочные участки, открытые склады и т. п.
Дистанционное	Установка магнитных пускателей в линиях питающей и групповой сети внутреннего освещения и в линиях наружного освещения. Использование распределительных пунктов ПР41 с дистанционно управляемыми вводными автоматическими выключателями	При управлении с диспетчерского или командного пункта общим освещением больших помещений, питаемого несколькими линиями или от нескольких подстанций. При необходимости включения общего освещения из двух мест и более. Для освещения территорий при удалении пункта управления от источников питания (практически необходимо при питании от двух и более подстанций)
Автоматическое (программное и фотоавтоматическое) *[3]	Установка магнитных пускателей в линиях внутреннего и наружного освещения и программного реле времени, фотореле или фотоэлектрического автоматического выключателя, включающих освещение в зависимости от времени суток или естественной освещенности	Для внутреннего или наружного освещения
Телемеханическое	Установка магнитных пускателей в линиях наружного освещения	Наружное и внутреннее освещение предприятий, на которых предусматривается телемеханическое управление электроснабжением и другими инженерными системами

*[1] Местное управление при необходимости может применяться для отдельных помещений и участков территории в дополнение к централизованному, дистанционному, автоматическому и телемеханическому управлению освещением.

*[2] Централизованное управление при необходимости может применяться для отдельных помещений и участков территории в дополнение к дистанционному, программному, фотоавтоматическому и телемеханическому управлению освещением.

*[3] При устройстве программного и фотоавтоматического управления должна предусматриваться возможность переключения с этих способов управления на дистанционное управление автоматическими выключателями групповых и магистральных щитков.

В сетях с изолированной нейтралью или без нейтрали и в сетях постоянного тока аппараты управления устанавливают во всех незаземленных проводах линии и обеспечивают их одновременное отключение. Для помещений без повышенной опасности в двухпроводных линиях допускается установка аппаратов управления в одном проводе.

В сетях малого напряжения аппараты управления устанавливают: в трехфазных линиях — во всех проводах, в однофазных — в одном незаземленном проводе.

Управление общим внутренним освещением. Для небольших помещений выключатели устанавливают у входа, как правило, со стороны дверной ручки; для редко посещаемых помещений (вентиляционные камеры, кладовые и т. п.) — вне помещений, в остальных случаях — в помещениях. Управление освещением отдельных участков помещений с разной ес-

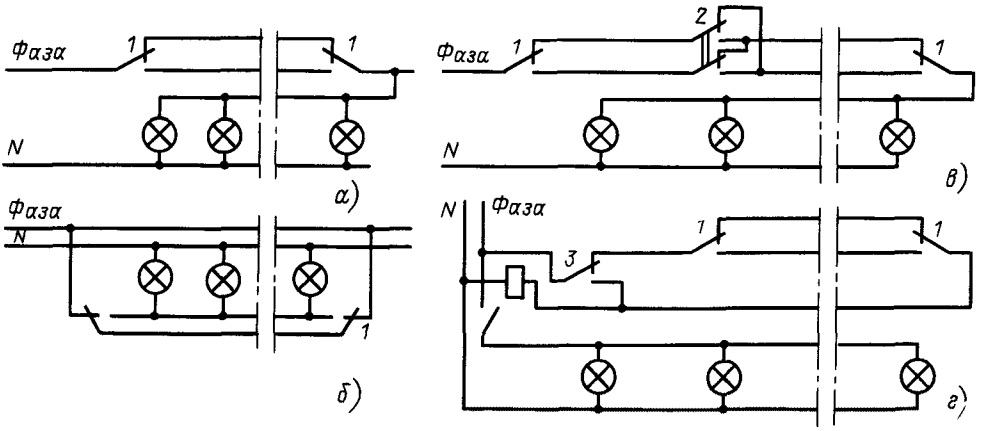


Рис. 4.13. Схемы управления освещением из нескольких мест:
а — из двух мест; *б* — из двух мест с транзитной фазой; *в* — из трех мест (при увеличении числа переключателей *2* из любого числа мест); *г* — с помощью магнитного пускателя (для управления его катушкой применяют схемы *а, б, в*); *1* — переключатель однополюсный на два направления без нулевого положения; *2* — переключатель двухполюсный на два направления без нулевого положения; *3* — переключатель однополюсный с нулевым положением (необходим при отсутствии аппарата, отключающего светильники и пускатель)

тественной освещенностью должно быть раздельным. Выключатели для светильников, установленных в помещениях с тяжелыми условиями среды, рекомендуется выносить в смежные помещения с лучшими условиями.

В помещениях с боковым естественным освещением рекомендуется предусматривать включение светильников рядами, параллельными окнам. В больших производственных помещениях (более 200 м^2), не используемых круглосуточно и не имеющих аварийного или эвакуационного освещения, рекомендуется выделять на отдельное включение небольшое число светильников, создающих освещенность, необходимую для уборки и охраны помещения (дежурное освещение).

В протяженных помещениях с несколькими входами, посещаемых только специальным персоналом (кабельные, водопроводные, теплофикационные туннели и др.), необходимо предусматривать управление освещением от каждого входа или части входов. Схемы управления освещением из нескольких мест приведены на рис. 4.13.

Местное управление освещением больших помещений обычно производят с групповых щитков автоматических выключателей групповых линий.

Аппараты управления освещением и щитки, с которых производится управление освещением, размещаются в местах, доступных и удобных для обслуживания.

Для запираемых помещений складов, где хранятся горючие материалы или материалы в горючей упаковке, вне склада устанавливают общий отключающий аппарат с приспособлением для пломбирования, размещенный в несгораемом ящике на несгораемой стене, а при ее отсутствии — на отдельной опоре.

При питании освещения зданий от отдельно стоящей подстанции на вводах питающей сети в здания устанавливают отключающие аппараты.

Управление местным освещением производят выключателями, являющимися конструктивной частью светильника или располагаемыми в стационарной части электропроводки. В сетях малого напряжения для включения освещения допускается использование розеток.

Управление наружным освещением предусматривают раздельным для следующих участков территорий предприятий и объектов: проходов и проездов; участков производства наружных работ; открытых технологических установок; открытых складов; светильников светового ограждения высотных препятствий; охранного освещения. При необходимости устройства на территории дежурного освещения должно предусматриваться раздельное управление световыми приборами рабочего и дежурного освещения.

Светильники освещения входов в здания питают, как правило, от сети внутреннего аварийного или эвакуационного освещения; управление ими производят местными выключателями.

Рекомендации по местному управлению прожекторами приведены в § 4.8.

4.11. ДИСТАНЦИОННОЕ, АВТОМАТИЧЕСКОЕ И ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Дистанционное управление внутренним освещением осуществляют в зависимости от характера и особенностей производственного корпуса из одного или нескольких мест (диспетчерский пункт, контора цеха и т. п.). Дистанционное или телемеханическое управление освещением территорий предприятий производят, как правило, из одного пункта, обеспеченного постоянным или периодически посещаемым дежурным персоналом; для больших территорий допускается предусматривать два-три пункта управления. Для мест производства открытых работ при цехах, открытых технологических установок, складских площадок и т. п. управление наружным освещением допускается выполнять из цеховых пунктов управления внутренним освещением или аппаратами местного управления.

Автоматическое управление освещением разделяется на фотоавтоматическое и программное. При фотоавтоматическом управлении включение и выключение наружного или внутреннего освещения осуществляются в зависимости от изменения освещенности, создаваемой естественным светом, и выполняется с помощью фотореле или фотоавтоматов [42].

Фотоавтоматическое управление используется преимущественно для наружного освещения. В установках внутреннего освещения оно имеет ограниченное применение из-за отсутствия производства фотоэлектрических автоматов с необходимыми для внутреннего освещения характеристиками.

Программное управление применяется для внутреннего освещения. Оно предусматривает включение и выключение освещения в зависимости от времени начала и окончания рабочих смен и обеденных перерывов, осуществляется с помощью программных реле времени [42].

Для включения и защиты линий внутреннего и наружного освещения при дистанционном, автоматическом и телемеханическом управлении применяют ящики или блоки управления с магнитными пускателями и автоматами (§ 4.14). Управление магнитными пускателями производится: при дистанционном управлении — с постов, пультов или шкафов управления, устанавливаемых в помещении управления освещением, при телемеханическом управлении — с пульта диспетчера. При устройстве автоматического управления в дополнение к фотоэлектрическим автоматам и программным реле времени предусматривают возможность перехода на дистанционное управление.

Для дистанционного управления внутренним и наружным освещением применяют многоканальную систему передачи команд и сигналов с прокладкой между силовыми блоками (ящиками управления) и постами (пультами, шкафами) управления линий управления, в качестве которых используют специально выделенные жилы телефонных кабелей внутриобъектной связи или специально прокладываемые контрольные кабели. При автоматическом управлении предусматривается прокладка линий управления между силовыми блоками, программными реле времени, фотоэлектрическими автоматами и выносными датчиками освещенности.

На предприятиях с телемеханическим управлением электроснабжения, в которое входит и управление наружным освещением, прокладки линий связи специально для управления освещением не требуется, за исключением линий между силовыми блоками и ближайшими к ним оконечными устройствами линий связи или телеуправления.

На рис. 4.14—4.17 приведены принципиальные схемы управления, на рис. 4.18—4.20 — схемы питания линий управления; в табл. 4.6 приведены данные о выборе схем управления, в табл. 4.7 — обозначения, принятые в схемах на рис. 4.14—4.20, и места установки отдельных аппаратов.

Схемы на рис. 4.14—4.17 относятся только к управляемым линиям, схемы на рис. 4.18—4.20 отражают варианты питания линий управления. В конкретных случаях применяются различные сочетания схем указанных двух групп (табл. 4.6).

Схемы управления характеризуются следующими особенностями: отсутствием нулевой защиты, чем обеспечивается автоматическое повторное включение освещения при восстановлении напряжения в линиях сети освещения после его кратковременного исчезновения; наличием на постах, пультах или шкафах управления освещением двух сигнальных ламп для каждого магнитного пускателя, показывающих включенное или отключенное состояние освещения; наличие в силовых блоках (ящиках с магнитными пускателями и автоматами) избирателей управления, позволяющих осуществлять переход с дистанционного, фотоавтоматического и телемеханического управления на местное; возможностью перехода с фотоавтоматического или программного управления на дистанционное или телемеханическое.

В схемах на рис. 4.14—4.16, 4.18—4.20

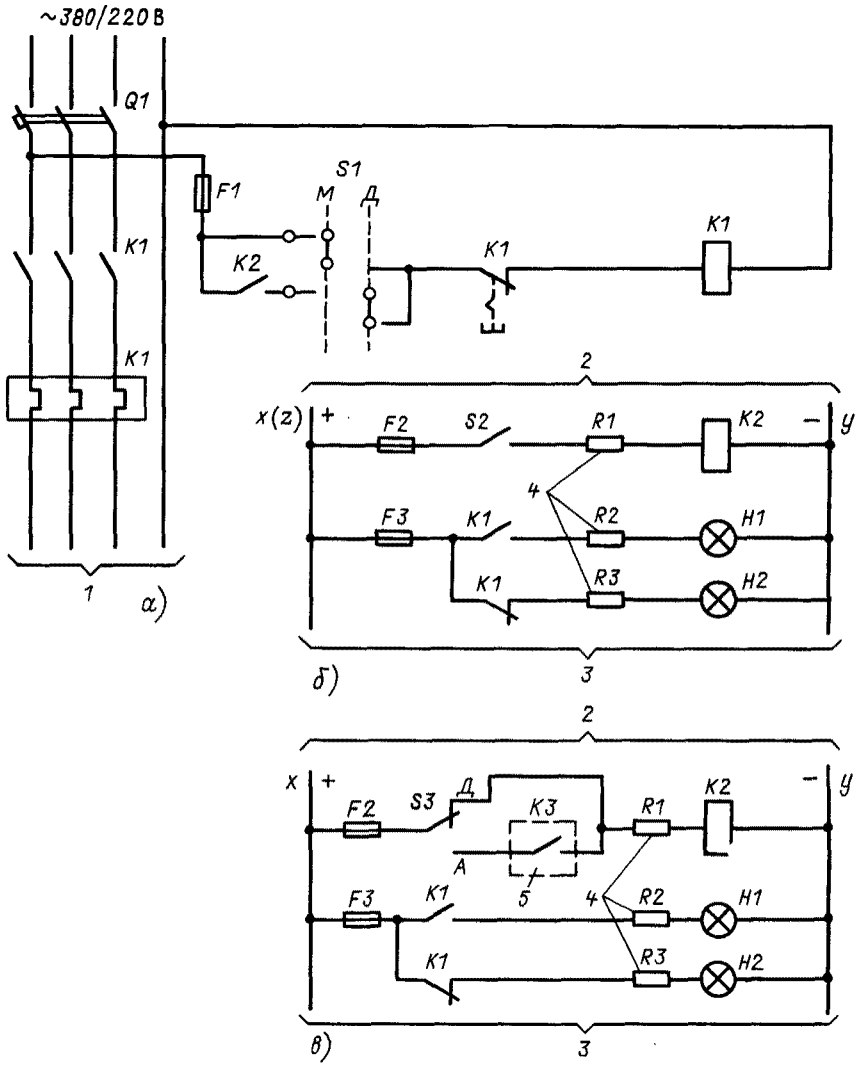


Рис. 4.14. Принципиальные схемы дистанционного, фотоавтоматического и программного управления освещением по свободным жилам телефонных кабелей:
а+б — дистанционное управление; *а+в* — фотоавтоматическое и программное управление; *1* — к потребителю; *2* — от источника питания сети управления 60 В (схемы рис. 4.17, 4.18); *3* — к аналогичным цепям управления других пускателей; *4* — вводится в случаях, если напряжение источника питания выше, чем напряжение катушки реле и сигнальной лампы; *5* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

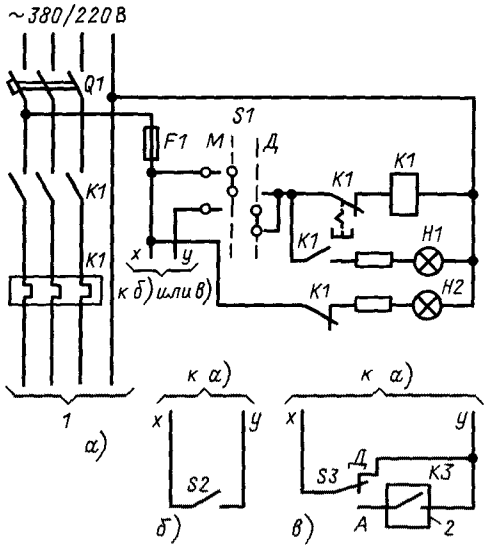


Рис. 4.15. Принципиальные схемы дистанционного, фотоавтоматического и программного управления освещением по контрольным кабелям без промежуточных реле:
а+б — дистанционное управление; *а+в* — автоматическое и программное управление; *1* — к потребителю; *2* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

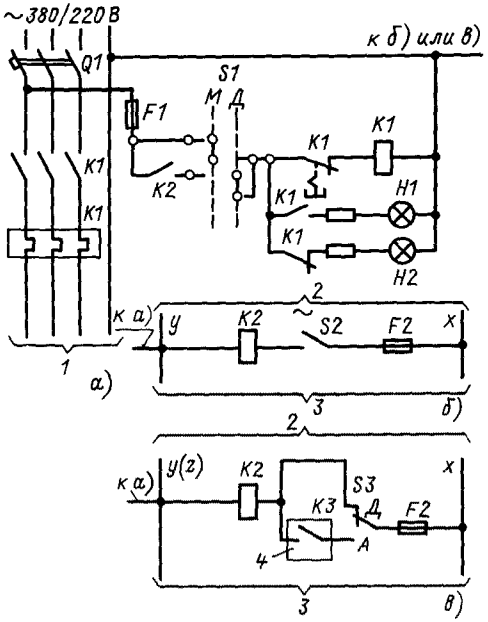


Рис. 4.16. Принципиальные схемы дистанционного, фотоавтоматического и программного управления освещением по контрольным кабелям с промежуточным реле:
а+б — дистанционное управление; *а+в* — автоматическое и программное управление; *1* — к потребителю; *2* — от источника питания сети управления 220 В; *3* — к аналогичным цепям управления других пускателей; *4* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

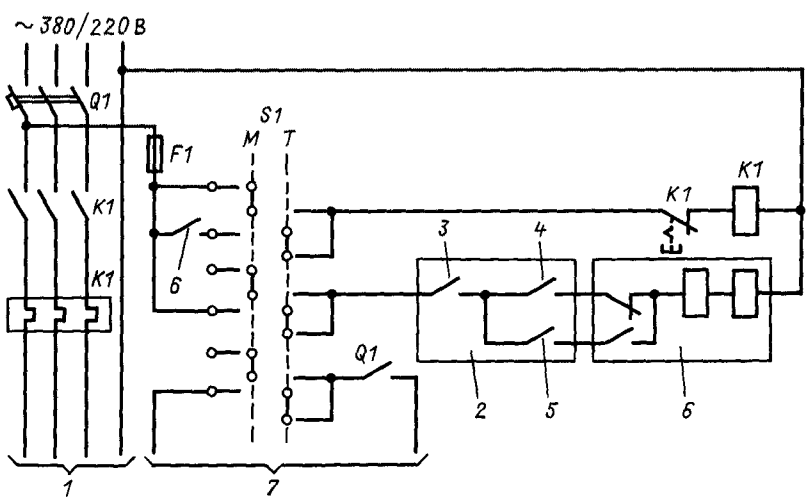


Рис. 4.17. Принципиальная схема телемеханического управления освещением:
1 — к потребителю; *2* — из схемы телеуправления; *3* — замкнут при подаче команды на включение или отключение; *4* — замкнут при подаче команды на включение; *5* — замкнут при подаче команды на отключение; *6* — двухпозиционное реле; *7* — цепь телесигнализации

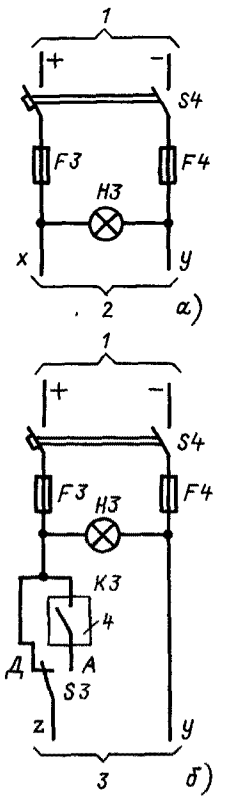


Рис. 4.18. Принципиальная схема питания сети управления постоянным током от аккумуляторной батареи:
а — при дистанционном, фотоавтоматическом и программном управлении каждым пускателем; *б* — при дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом или программном управлении группой пускателей; *1* — от аккумуляторной батареи или выпрямительного устройства 60 В; *2* — к схеме рис. 4.14, *б* или *в*; *3* — к схеме рис. 4.14, *б*; *4* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

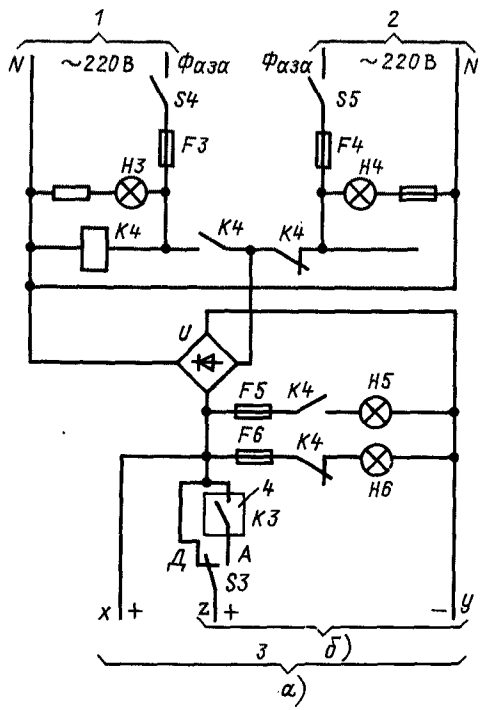


Рис. 4.19. Принципиальная схема питания сети управления постоянным током от выпрямителя:
а — при дистанционном, фотоавтоматическом и программном управлении каждым пускателем (к схемам рис. 4.14, *б* и *в*); *б* — при дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом или программном управлении группой пускателей (к схемам рис. 4.14, *б*); *1* — основное питание 220 В; *2* — резервное питание 220 В; *3* — постоянный ток 60 В; *4* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

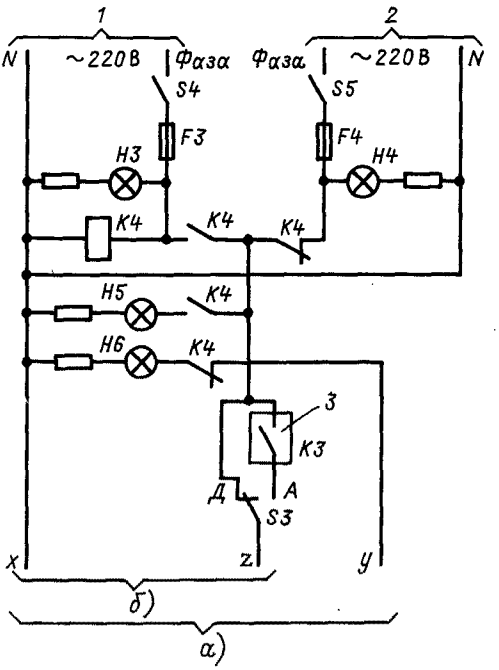


Рис. 4.20. Принципиальная схема питания сети управления переменным током:
а — при дистанционном, фотоавтоматическом и программном управлении каждым пускателем (к схемам рис. 4.17, *б* или *в*); *б* — при дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом или программном управлении группой пускателей (к схеме рис. 4.17, *б*); *1* — основное питание 220 В; *2* — резервное питание 220 В; *3* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

Таблица 4.6. **Выбор схем управления**

Способ управления	Характеристика линий управления	Питание линий управления			Номер рисунка, где изображены схемы		Рекомендуемая область применения
		Источник питания	Род тока	Напряжение, В	управления	питания линий управления	
Дистанционное	Телефонные кабели	Аккумуляторная батарея*1	Постоянный	60	4.14, *а, б*	4.18, *а*	Наружное*2 освещение
		Через выпрямитель*1			4.14, *а, б*	4.19, *а*	
Дистанционное и фотоавтоматическое		Аккумуляторная батарея*1			4.14, *а, в**3 4.14, *а, б**4	4.18, *а**3 4.18, *б**4	
		Через выпрямитель*1			4.14, *а, в**3 4.14, *а, б**4	4.19, *а**3 4.19, *б**4	
Дистанционное	Контрольные кабели	От управляемой линии	Переменный	220	4.15, *а, б*	—	Внутреннее и наружное освещение*5
Дистанционное и фотоавтоматическое		От двух источников			4.16, *а, б* 4.16, *а, б**3 4.16, *а, б**4	4.20, *а* 4.20, *а**3 4.20, *б**4	Наружное освещение*6
Телемеханическое	Кабели системы телеуправления	—	—	—	4.17	—	Наружное освещение и внутреннее*7

*1 Выбор источника питания линий управления производится с учетом местных условий проектируемого объекта.

*2 При небольших расстояниях от помещения управления освещением до магнитных пускателей напряжения катушек промежуточных реле *К2* и источника питания линий управления принимаются одинаковыми; при значительных расстояниях напряжение катушек реле принимается ниже напряжения источника питания, а избыток напряжения гасится в специально рассчитываемых добавочных сопротивлениях *R1*.

*3 При дистанционном и фотоавтоматическом управлении каждым пускателем.

*4 При дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом управлении группой пускателей.

*5 При небольших расстояниях от помещения управления освещением до магнитных пускателей.

*6 При значительных расстояниях от помещения управления освещением до магнитных пускателей.

*7 Применяется при наличии на предприятии телемеханизации систем электроснабжения.

показан выходной контакт фотоэлектрического автомата, фотореле и программного реле времени, обозначенного КЗ, подключение же самого фотоавтомата или реле времени к сети решается в зависимости от типа этого аппарата. Выносные датчики освещенности для фотоавтоматического управления устанавливают в местах контроля освещенности, ориентированных на север. Датчики могут располагаться в помещениях перед окном или между рамами окна, а также вне помещений на наружных стенах зданий. Датчики должны быть защищены от случайных засветов, а снаружи и от атмосферных осадков.

При использовании для управления освещением телефонных кабелей линии управления следует питать постоянным током во избежание помех телефонным переговорам. В качестве источника постоянного тока могут использоваться аккумуляторные батареи слаботочных устройств напряжением 60 В и выпрямительные устройства с выходным напряжением до 60 В.

Таблица 4.7. **Обозначения в схемах на рис. 4.14—4.20 и места установки аппаратов**

Обозначение	Аппараты	Место установки
Q1	Автоматический выключатель	В силовом блоке (ящике) управления
K1	Пускатель магнитный	
S1	Избиратель управления	
F1	Предохранитель в цепи управления	
K2	Реле промежуточное	Вблизи силового блока (ящика) управления
R1	Сопротивление добавочное в цепи катушки реле	
K3	Фотоэлектрический автомат, фотореле или программное реле времени	
K4	Пускатель магнитный	В помещении управления освещением
S2	Выключатель дистанционного управления	
S3	Избиратель режима управления	
S4, S5	Выключатель в цепи питания линий управления	
H1 ÷ H6	Лампа сигнальная	
F2 ÷ F6	Предохранитель в цепи управления	
R2	Сопротивление добавочное в цепи сигнальной лампы	
U	Выпрямитель	

Обозначение у избирателей *S1* и *S2*

М	Местное управление
Д	Дистанционное управление
А	Автоматическое управление
Т	Телемеханическое управление

4.12. РАСЧЕТ И ВЫПОЛНЕНИЕ СЕТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Применение воздушных линий и электропроводок на роликах, изоляторах и других незащищенных способов прокладки для сетей дистанционного управления освещением не рекомендуется из-за недостаточной их надежности.

Использование общего контрольного кабеля или прокладка в общей трубе проводов для управления рабочим и аварийным (эвакуационным) освещением запрещается.

Количество жил в линиях управления между постом (пультом, шкафом) управления, установленным в помещении управления освещением и силовыми блоками с магнитными пускателями, принимается из следующего расчета: для схем по рис. 4.14, *а+б*, 4.15, *а+б*, 4.16, *а+в—5n*; по рис. 4.14, *а+в*, 4.15, *а+в—6n*; по рис. 4.16, *а+б—4n*, где *n* — число магнитных пускателей, обслуживаемых линией управления.

Сети дистанционного управления рассчитывают на потерю напряжения от пускового тока втягивающих катушек магнитных пускателей и реле — при питании катушек переменным током и от рабочего тока катушек — при постоянном токе. Эти аппараты надежно срабатывают при понижении напряжения до 85 % номинального значения.

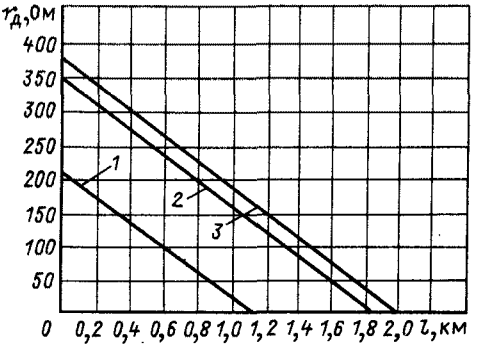


Рис. 4.21. График для определения добавочного сопротивления в цепи катушки реле типа РПУ-2 постоянного тока при сопротивлении катушек, Ом, на напряжение:
1 — 12—43 В; *2* — 24—180 В; *3* — 48—800 В. Напряжение источника питания сети управления 60 В. Напряжение катушек реле: 1—12; 2—24; 3—48 В; $r_д$ — добавочное сопротивление в цепи катушки реле, Ом; *l* — длина кабельной линии управления с медными жилами диаметром 0,5 мм

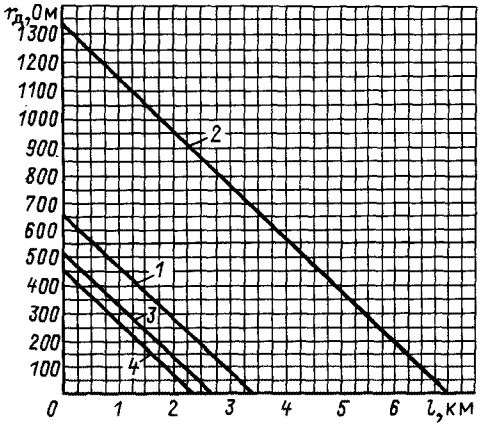


Рис. 4.22. График для определения добавочного сопротивления в цепи коммутаторных ламп при напряжении источника питания цепи сигнализации 60 В. Тип и напряжение коммутаторных ламп:
1 — КМ12-90, 12 В; *2* — КМ24-35, 24 В; *3* — КМ24-90, 24 В; *4* — КМ48-50, 48 В; $r_д$ — добавочное сопротивление в цепи сигнальной лампы, Ом; *l* — длина кабельной линии сигнализации с медными жилами диаметром 0,5 мм, км

Таблица 4.8. **Значения коэффициента β**

cosφ катушки при пуске	Медные провода		Алюминиевые провода	
	220 В	380 В*	220 В	380 В*
1	0,91	0,52	1,51	0,86
0,95	0,86	0,49	1,43	0,81
0,9	0,83	0,475	1,38	0,79
0,85	0,79	0,45	1,31	0,75
0,8	0,75	0,43	1,24	0,71
0,75	0,72	0,41	1,19	0,68
0,7	0,68	0,39	1,13	0,65
0,65	0,64	0,37	1,06	0,61
0,6	0,6	0,345	1	0,57
0,55	0,57	0,33	0,95	0,55
0,5	0,54	0,31	0,9	0,52
0,45	0,51	0,3	0,85	0,5
0,4	0,48	0,275	0,8	0,46
0,35	0,45	0,26	0,75	0,43
0,3	0,415	0,24	0,69	0,41
0,25	0,385	0,22	0,64	0,365
0,2	0,355	0,205	0,59	0,34

* Магнитные пускатели с катушками на напряжение 380 В для дистанционного управления освещением применять не рекомендуется.

Телефонные кабели. При питании сети управления телефонными кабелями с медными жилами диаметром 0,5 мм от источника постоянного тока напряжением 60 В и применении реле и сигнальных ламп на то же напряжение потерю напряжения в сети ε, %, определяют по формуле

$$\varepsilon = 269Il, \qquad (4.3)$$

где *I* — рабочий ток катушки реле или сигнальной лампы, А; *l* — длина линии управления, км.

Расчет сетн управления и сигнализации в случаях, когда напряжение источника питания больше напряжения катушек реле и сигнальных ламп, сводится к определению добавочного сопротивления, включаемого последовательно с катушкой или лампой для гашения излишка напряжения, не потребляемого в кабеле.

Добавочное сопротивление при питании одной парой жил телефонного кабеля диаметром 0,5 мм одного реле или одной сигнальной лампы определяют по формуле

$$r_{доб} = \frac{U}{0{,}85I} - 190l - r, \qquad (4.4)$$

где $r_{доб}$ — добавочное сопротивление, Ом; *r* — активное сопротивление катушки реле или сигнальной лампы при ее горении, Ом; *U* — напряжение источника питания, В; *I* — рабочий ток катушки реле или сигнальной лампы при ее горении; А; *l* — длина кабеля от пункта управления освещением до места установки магнитного пускателя, км.

Для упрощения определения значений добавочных сопротивлений в цепи катушек реле типа РПУ-2 постоянного тока и коммутаторных ламп (обычно применяемых в таких схемах) могут применяться графики, приведенные на рис. 4.21 и 4.22.

Контрольные кабели. Сечение жил контрольных кабелей при питании катушек магнитных пускателей и реле переменным током определяют по формуле

$$S = Il\beta, \qquad (4.5)$$

где *S* — сечение, мм^2; *I* — пусковой ток катушки магнитного пускателя или реле, А; *l* — длина кабеля от пункта управления освещением до места установки магнитного пускателя или реле, км; β — коэффициент, определяемый по табл. 4.8.

Г. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

4.13. МАГИСТРАЛЬНЫЕ И ГРУППОВЫЕ ЩИТКИ

В качестве осветительных магистральных и групповых щитков применяют распределительные пункты серии ПР8501 с трехполюсными и однополюсными автоматическими выключателями. Распределительные пункты этой серии используют также для силовых электроустановок.

Из большой номенклатуры пунктов ПР8501 для питающих и групповых осветительных сетей применяют типоисполнения, приведенные в табл. 4.9. В таблицу включены пункты на номинальный ток 160 и 250 А. При необходимости применения пунктов на больший номинальный ток могут использоваться пункты ПР8501, применяемые для силовых электроустановок, приведенные в разд. 3 (табл. 3.85). Эскизы пунктов для утопленной установки указаны на рис. 4.23, для навесной установки — на рис. 3.14 (см. разд. 3), габарнты, установочные размеры и масса — в табл. 4.10. Основные технические характеристики пуиктов, включенных в табл. 4.9, приводятся ниже.

Пункты укомплектованы автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями — однополюсными ВА51-29 до 63 А и трехполюсными ВА51-31 до 100 А.

В пункте на вводе питания установлены зажимы или трехполюсный автоматический выключатель. Климатическое исполнение пунктов У, УХЛ и Т, категории размещения 2, 3 и холодостойкое. Конструктивное исполнение — навесное со степенью защиты IP21 и IP54 и утопленное со степенью защиты IP21. Верхняя и нижняя крышки — съемные, отверстия в них для кабелей и проводов, прокладываемых в трубах, выполняют при монтаже. Пункты для утопленной установки допускают присоединение к неразрезной магистрали, проходящей через пункт. Пункты имеют зажимы, обеспечивающие присоединение алюминиевых и медных проводников без пайки и кабельных наконечников следующих сечений при номинальном токе: 63 А от $1\times1{,}0$ до 1×25 мм^2; 100 А $1\times2{,}5$ — 1×70 мм^2; 160 А 1×25—1×120 мм^2; 250 А 1×50 — 2 (1×120) мм^2.

Для групповых осветительных сетей производственных помещений, освещаемых разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ), при устройстве групповой компенсации реактивной мощности трехфазными конденсаторами, присоединенными к групповым линиям (см. § 4.9, рис. 4.11), применяют распределительные пункты серии ПР41 для напряжения 380/220 В (табл. 4.11, рис. 4.24). Пункт ПР41 для напольной установки рассчитан на четыре трехфазные групповые линии, в нем установлено четыре трехфазных конденсатора мощностью по 18 квар.

Таблица 4.9. **Распределительные пункты серии ПР8501**

№ схемы	Номинальное напряжение, В	Число автоматических выключателей	
		однополюсных ВА51-29	трехполюсных ВА51-31
С зажимами на вводе			
Номинальный ток 160 А, рабочий ток для IP21 У3 128 А, для IP54 УХЛ2, Т2 120 А			
001	380	3	1
002	380	6	—
003	380	3	1
004	660	—	2
005	380	12	—
006	380	6	2
007	660	—	4
008	660	18	—
009	380	12	2
010	380	6	4
011	660	—	6
Номинальный ток 250 А, рабочий ток для IP21 У3 200 А, для IP54 УХЛ2, Т2 188 А			
012	380	12	—
013	380	6	2
014	660	—	4
015	380	18	—
016	380	12	2
017	380	6	4
018	660	—	6
019	380	24	—
020	380	18	2
021	380	12	4
022	380	6	6
023	660	—	8
024	380	30	—
025	380	24	2
026	380	18	4
027	380	12	6
028	380	6	8
029	660	—	10

Продолжение табл. 4.9

№ схемы	Номинальное напряжение, В	Число автоматических выключателей	
		одиополюсных ВА51-29	трехполюсных ВА51-31
С автоматическим выключателем ВА51-33 до 160 А на вводе			
Номинальный ток 160 А, рабочий ток для IP21 У3 128 А, для IP54 УХЛ24, Т2 120 А			
045	380	3	—
046	380	6	—
047	380	3	1
048	660	—	2
049	380	12	—
050	380	6	2
051	660	—	4
052	380	18	—
053	380	12	2
054	380	6	4
055	660	—	6
С автоматом ВА51-35 до 250 А на вводе			
Номинальный ток 250 А, рабочий ток для IP21 У3 200 А, для IP54 УХЛ2, Т2 188 А			
056	380	12	—
057	380	6	2
058	660	—	4
059	380	18	—
060	380	12	2
061	380	6	4
062	660	—	6
063	380	24	—
064	380	18	—
065	380	12	4
066	380	6	6
067	660	—	8
068	380	30	—
069	380	24	2
070	380	18	4
071	380	12	6
072	380	6	8
073	660	—	10

Примечания: 1. Номинальный ток комбинированных расцепителей автоматических выключателей ВА51-29: 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 А; автоматических выключателей ВА51-33: 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 А.

2. Кратности тока отсечки 3, 7 и 10 номинального тока уставки.

3. Номинальные токи уставки и кратность тока отсечки автоматических выключателей указываются при заказе.

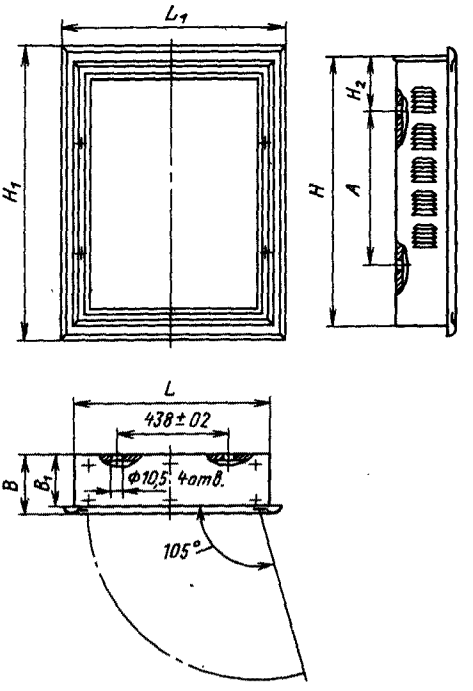


Рис. 4.23. Распределительные пункты серии ПР8501 для утопленной установки

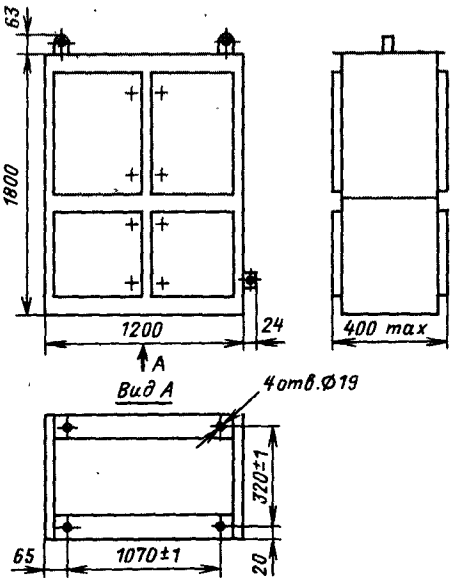


Рис. 4.24. Габариты и установочные размеры распределительных пунктов серии ПР41

Таблица 4.10. **Габариты, установочные размеры и масса распределительных пунктов серии ПР8501**

№ схемы	Размеры, мм								Масса, кг
	H	H_1	H_2	A	L	L_1	B	B_1	
Для утопленной установки (рис. 4.23)									
001—004; 045—048	400	500	114	177	750	850	160	166	44
005—018; 049—062	600	700	214	377	750	850	160	166	48
019—029; 063—073	800	900	214	377	750	850	160	166	58
Для навесной установки (рис. 3.18, *а*)									
001—004	400	—	—	—	550	—	160	—	48
045—048	400	—	—	—	550	—	160	—	49
005—018	600	—	—	—	550	—	160	—	47
049—062	600	—	—	—	550	—	160	—	47
019—029	800	—	—	—	550	—	160	—	50
063—073	800	—	—	—	550	—	160	—	58

Таблица 4.11. **Распределительные пункты серии ПР41**

Тип пункта	Количество трехполюсных выключателей		Количество трехфазных конденсаторов КС1-038-18У3	Масса, кг
	вводных А3728Ф	групповых А2046		
ПР41-4301-43У4	1	4	4	290
РП41-4302-43У4	—	4	4	270

Степень защиты IP43, климатическое исполнение и категория размещения У4, но пункты пригодны также для эксплуатационных условий, нормированных для климатического исполнения ХЛ. На вводе в пункт установлен выключатель А3728Ф (без расцепителя) с электромагнитным приводом дистанционного управления или зажимы, для отходящих линий — трехполюсные автоматы А2046 с комбинированными расцепителями (ток расцепителя указывается при заказе). К пунктам допускается присоединение алюминиевых и медных проводников на каждую фазу: питающих от 10 до 2×120 мм^2; отходящих от 1,5 до 25 мм^2.

Для групповых осветительных сетей применяют указанные ниже групповые щитки.

Групповые щитки типов ЯОУ-8501 — ЯОУ-8508 (табл. 4.12, рис. 4.25) на напряжения 380/220 В укомплектованы однополюсными автоматическими выключателями АЕ1031 до 25 А и АЕ2044 до 63 А и трехполюсными АЕ2046 до 63 А. Расцепители автоматических выключателей комбинированные, токи расцепителей автоматических выключателей АЕ1031 на 6, 10, 16 и 25 А, автоматических выключателей АЕ2044 и АЕ2046 на 10; 12,5; 16; 20; 25 А (ток расцепителя указывается при заказе). Сечения проводников питающих линий до 2×50 мм^2, отходящих до 6 мм^2. Масса щитка не более 15 кг. Климатическое исполнение У, Т, УХЛ, категория размещения 3.

Заводы НПО «Электромонтаж» Минмонтажспецстроя СССР выпускают групповые щитки типов ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ (табл. 4.13, рис. 4.26). Щитки рассчитаны на напряжение 380/220 В, укомплектованы однополюсными автоматическими выключателями. Ток расцепителей одинаков для всех автоматических выключателей одного щитка (указывается при заказе). Количество и сечение проводников, присоединяемых к вводному зажиму, до 2×50 мм^2. Степень защиты IP20, климатическое исполнение УХЛ4.

Щитки осветительные взрывонепроницаемые ЩОВ-1А и ЩОВ-2А (табл. 4.14, рис. 4.27) на напряжение 380/220 В 50 Гц для внутрисоюзных поставок, 415/240 В, 50 Гц и 380/220 В, 60 Гц для поставок на экспорт. Маркировка щитков по взрывозащите ВЗТ4-В. Щитки предназначены для взрывоопасных зон классов В-Iа, В-Iб, В-II, В-IIа, В-Iг, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси, отнесенные к 1, 2 и 3-й категориям и группам Т1, Т2, Т3 и Т4. Климатическое исполнение У, ХЛ, Т, категория размещения 1. Щитки имеют два вводных отверстия для труб диаметром 2″ и 4″, выводных — для труб 1″. Рукоятки управления вводным разъединителем и автоматическими выключателями групповых линий выведены на крышки корпуса щитка.

Таблица 4.12. **Групповые щитки типа ЯОУ-8501 — ЯОУ-8508**

Тип щитка	Тип выключателя на вводе	Автоматические выключатели на группах		Степень защиты	Способ установки
		Тип	Количество		
ЯОУ-8501 ЯОУ-8502 ЯОУ-8503 ЯОУ-8504	ПВ3-60 ПВ3-100 ПВ3-100 ПВ3-100	АЕ1031 АЕ1031 АЕ2044 АЕ2046	6 12 6 2	IP54	Открыто
ЯОУ-8505 ЯОУ-8506	ПВ3-60 ПВ3-100	АЕ1031 АЕ1031	6 12	IP20	В нише, 650×300×150
ЯОУ-8507 ЯОУ-8508	— —	АЕ1031 АЕ1031	6 12		В нише, 550×300×150

Примечание. Автоматические выключатели АЕ-1031, АЕ-2044 — однополюсные, АЕ-2046 — трехполюсные.

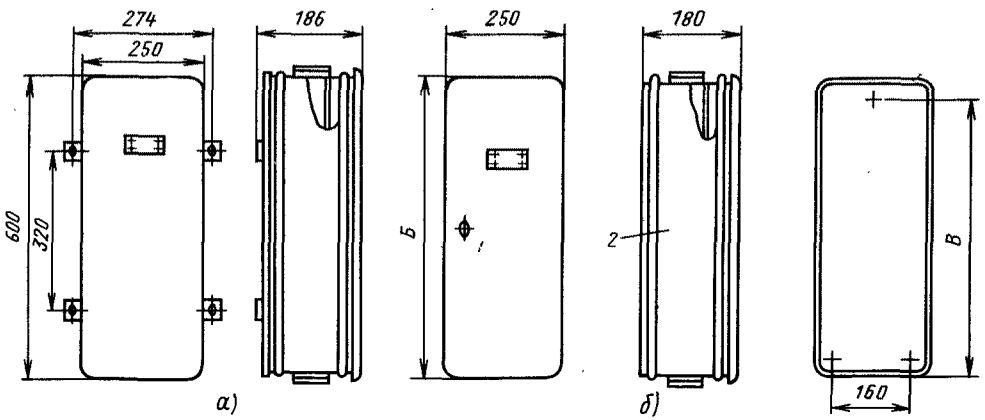


Рис. 4.25. Габариты и установочные размеры групповых щитков типов ЯОУ-8501 — ЯОУ-8508: *а* — типа ЯОУ-8501 — ЯОУ-8504; *б* — типа ЯОУ-8505 — ЯОУ-8508

Тип щитка	Размеры, мм		Тип щитка	Размеры, мм	
	Б	*В*		*Б*	*В*
ЯОУ-8505 ЯОУ-8506	600 600	500 500	ЯОУ-8507 ЯОУ-8508	500 500	400 400

Таблица 4.13. **Групповые щитки заводов Главэлектромонтажа Минмонтажспецстроя СССР**

Тип щитка	Аппарат на вводе	Автоматические выключатели на группах		Способ установки	№ рисунка	Размеры, мм				Масса, кг
		Тип	Число			*L*	*A*	*H*	H_1	
ОП-3УХЛ4	—	АЕ1000	3	Открыто	4.26, *а*	374	254	—	—	—
ОП-6УХЛ4	—	АЕ1000	6			374	254	—	—	6
ОП-9УХЛ4	—	АЕ1000	9			500	380	—	—	—
ОП-12УХЛ4	—	АЕ1000	12			500	380	—	—	9
ОЩ-6УХЛ4	Зажимы	А63	6	Открыто	4.26, *б*	—	300	416	—	13
ОЩ-12УХЛ4	Зажимы	А63	12			—	500	616	—	19,5
ОЩВ-6АУХЛ4	АЕ2046-10	А3161	6			—	400	516	—	16,5
ОЩВ-12АУХЛ4	АЕ2056-10	А3161	12			—	600	716	—	23
УОЩВ-6АУХЛ4	АЕ2046-10	А3161	6	В нише	4.26, *в*	—	400	600	500	17,5
УОЩВ-12АУХЛ4	АЕ2056-10	А3161	12			—	600	800	700	24,5

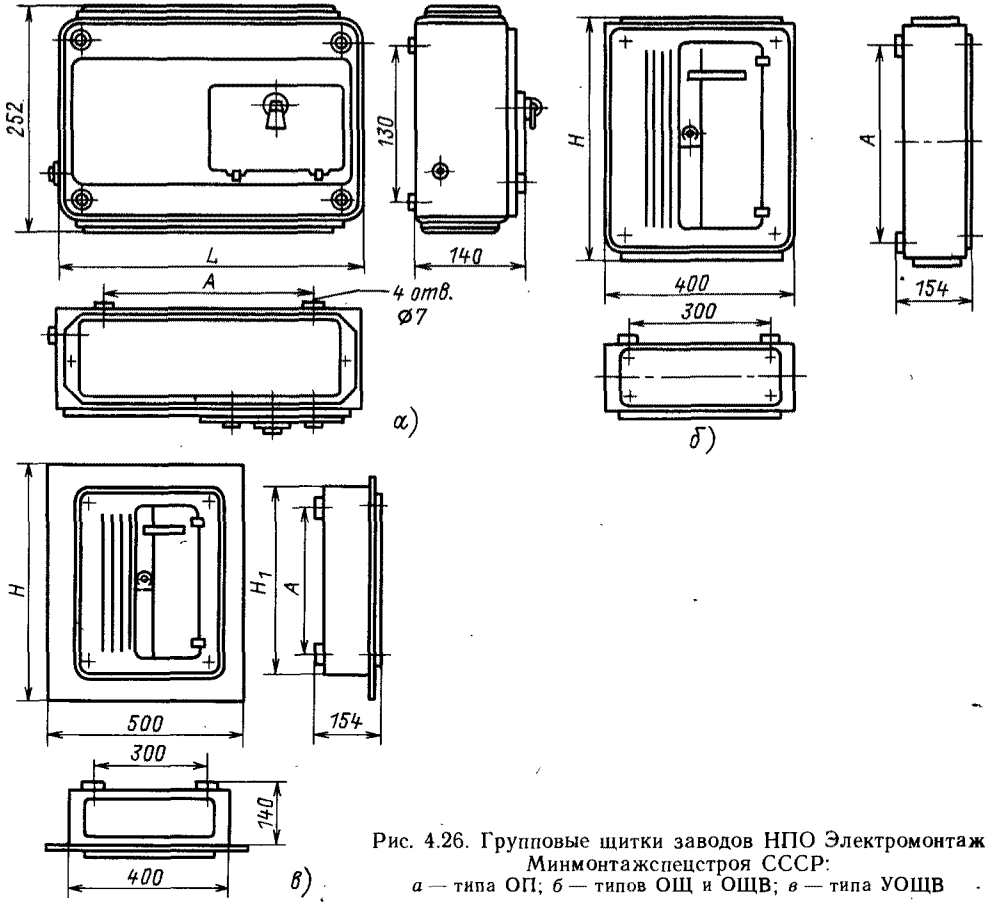


Рис. 4.26. Групповые щитки заводов НПО Электромонтаж Минмонтажспецстроя СССР:
а — типа ОП; *б* — типов ОЩ и ОЩВ; *в* — типа УОЩВ

Таблица 4.14. **Щитки осветительные взрывоиепроницаемые ЩОВ-А**

Тип щитка	Аппарат на вводе	Автоматические выключатели на группах				Масса, кг
		Тип	Ток расцепителя	Число		
				одиополюсных	трехполюсных	
ЩОВ-1А	Трехполюсный разъединитель	АЕ2044	16	6	—	—
		АЕ2046	50	—	2	100
ЩОВ-2А	То же	АЕ2044	16	12	—	110

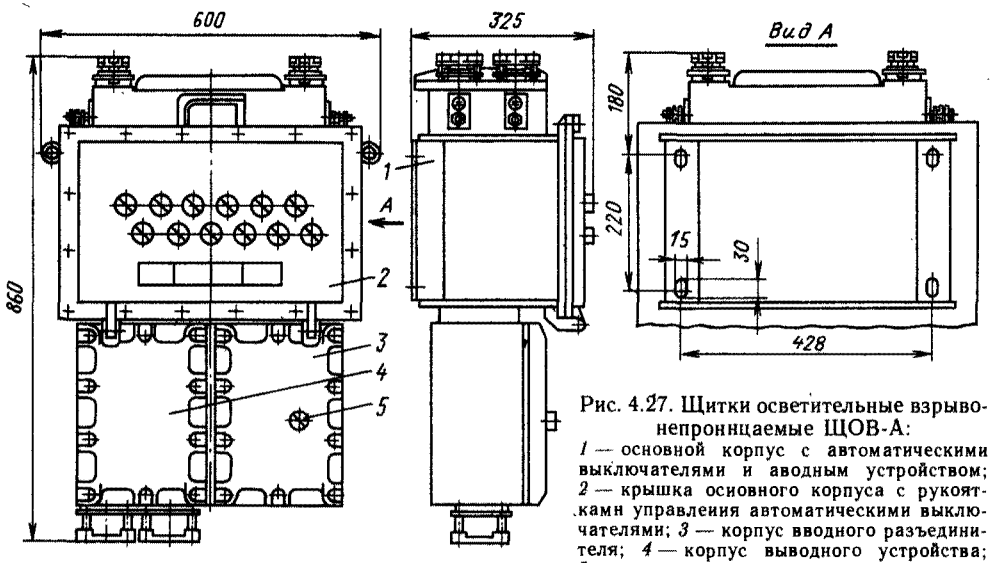


Рис. 4.27. Щитки осветительные взрывонепроницаемые ЩОВ-А:
1 — основной корпус с автоматическими выключателями и аводным устройством; *2* — крышка осиовного корпуса с рукоятками управления автоматическими выключателями; *3* — корпус вводного разъединителя; *4* — корпус выводного устройства; *5* — рукоятка управления вводным разъединителем

4.14. ЯЩИКИ, БЛОКИ И ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

Для дистаниционного управления наружным и виутренним освещением применяются ящики, блоки и панели управления с магнитными пускателями и автоматическими выключателями, сведения о которых помещены в разд. 3 иастоящего справочника.

Номенклатура ящиков управления серии Я5000 приведена в табл. 3.102, их технические даиные в табл. 3.103, принципиальные схемы иа рис. 3.21—3.23, установочный чертеж на рис. 3.24.

Технические даиные блоков управления серии Б5030 и панелей управления П5030 указаны в табл. 3.109, классификационная структура — на рис. 3.27, принципиальные схемы — иа рис. 3.28—3.30.

4.15. СТАНЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ НА РЕЗЕРВ

Для ответственных осветительных устаиовок примеияется переключение отдельных групп потребителей, например аварийного освещения с иормальиого (основного) источника электроэнергии на резервный в случае исчезновеиия напряжения на осиовном источнике. Примеияются также схемы, в которых светильники аварийиого освещения нормально не горят и автоматически включаются на питание от резервного источника, когда исчезает напряжение в сети рабочего освещения.

Автоматическое переключение или включение аварийиого (эвакуационного) освещения осуществляется с помощью станций управления (табл. 4.15). Схемы главных цепей станций указаны иа рис. 4.28. Схема *б* приме-

Таблица 4.15. **Станции автоматического переключения**

Тип	Типовой индекс	Нормальное питание			Аварийное питание				Габариты (высота × ширина × глубина), мм	Схема по рис. 4.28
		Номинальный ток главной цепи, А	Номинальное напряжение цепи главного управления, В	Количество полюсов или фаз	Номинальный ток главной цепи, А	Номинальное напряжение цепи, В		Количество полюсов или фаз		
						главной	управления			
Двухстороннего обслуживания										
БУ8351	21А1 22А2	100	—110 —220		100	—110 —220	—110 —220		500×600× ×370	*а*
	31А1 32А2	160	—110 —220		160	—110 —220	—110 —220		500×600× ×390	
БУ8352	31А1 32А2	—	—110 —220		160	До —220	—		500×600× ×380	*б*
БУ8353*	31А1 32А2	—	~127 ~220	2	160	До ~220	—	2		
БУ8251*	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	~127 ~220	~127 ~220		500×600× ×370	*в*
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	~127 ~220	~127 ~220		500×600× ×390	
БУ8252*	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	—110 —220	—110 —220		750×600× ×360	*г*
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	—110 —220	—110 —220			
БУ8253	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	~127 ~220	~127 ~220		1000× ×600×340	*д*
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	~127 ~220	~127 ~220		1000× ×600×350	
	41А1 42А2	250	~127 ~220		250	~127 ~220	~127 ~220		1000× ×600×400	
ПУ8253	51А1 52А2	400	~127 ~220		400	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×600×510	
	61А1 62А2	630	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	630	~127 ~220	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	2200× ×700×550	
	51Б1 52Б2	400	~127 ~220		400	~127 ~220	~127 ~220		1800× ×600×510	
	61А1 62А2	630	~127 ~220		630	~127 ~220	~127 ~220		1800× ×700×550	
ПУ8254*	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	~127 ~220	~127 ~220		1000× ×600×390	
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	~127 ~220	~127 ~220			
	41А1 42А2	250	~127 ~220		250	~127 ~220	~127 ~220		1000× ×600×430	
	51А1 52А2	400	~127 ~220		400	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×600×480	
	61А1 62А2	630	~127 ~220		630	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×700×480	

Продолжение табл. 4.15

Тип	Типовой индекс	Нормальное питание			Аварийное питание				Габариты (высота × ширина × глубина), мм	Схема по рис. 4.28
		Номинальный ток главной цепи, А	Номинальное напряжение цепи главного управления, В	Количество полюсов или фаз	Номинальный ток главной цепи, А	Номинальное напряжение цепи, В		Количество полюсов или фаз		
						главной	управления			
ПУ8254*	51Б1 52Б2	400	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	400	~127 ~220	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	1800× ×600×480	
	61Б1 62Б2	630	~127 ~220		630	~127 ~220	~127 ~220		1800× ×700×480	
ПУ8255*	21А1 22А2	100	~127 ~220		300	—110 —220	—110 —220	2	2200× ×500×390	*е*
	31А1 32А2	160	~127 ~220		480	—110 —220	—110 —220		2300× ×500×430	
	41А1 42А2	250	~127 ~220		750	—110 —220	—110 —220		2300× ×500×480	
ПУ8256*	61А1 62А2	600	~127 ~220		600	~127 ~220	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	2200× ×700×550	*ж*
Одностороннего обслуживания										
ЯУ8351	11А1 12А2	40	—110 —220		40	—110 —220	—110 —220		600×600× ×300	*а*
	31А1 32А2	160	—110 —220		160	—110 —220	—110 —220		900×600× ×360	
ЯУ8352	01А1 02А2	—	—110 —220		25	До —220	—		600×600× ×360	*б*
	31А1 32А2	—	—110 —220		160	До —220	—			
ЯУ8353	01А1 02А2	—	127 220		25	До —220	—			
	31А1 32А2	—	127 220	2	160	До —220	—	2		
ЯУ8251*	11А1 12А2	40	~127 ~220		40	~127 ~220	~127 ~220			*в*
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	~127 ~220	~127 ~220		1200× ×600×360	
ЯУ8252*,**	11А1 12А2	40	~127 ~220		40	—110 —220	—110 —220		600×600× ×360	*г*
	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	—110 —220	—110 —220		900×600× ×360	
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	—110 —220	—110 —220			
ШУ8253	21А1 22А2	100	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	100	~127 ~220	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	1800× ×800×600	*д*

Продолжение табл. 4.15

Тип	Типовой индекс	Нормальное питание			Аварийное питание				Габариты (высота × ширина × глубина), мм	Схема по рис. 4.28
		Номинальный ток главной цепи, А	Номинальное напряжение цепи главного управления, В	Количество полюсов или фаз	Номинальный ток главной цепи, А	Номинальное напряжение цепи, В		Количество полюсов или фаз		
						главной	управления			
ШУ8253	31А1 32А2	160	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	160	~127 ~220	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	1800× ×800×600	*д*
	41А1 42А2	250	~127 ~220		250	~127 ~220	~127 ~220			
	51А1 52А2	400	~127 ~220		400	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×1200×800	
	61А1 62А2	630	~127 ~220		600	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×1300×800	
ЯУ8254*	11А1 12А2	40	~127 ~220		40	~127 ~220	~127 ~220		900×600× ×360	
ШУ8254*	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	~127 ~220	~127 ~220		1800× ×800×600	
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	~127 ~220	~127 ~220			
	41А1 42А2	250	~127 ~220		250	~127 ~220	~127 ~220		1800× ×1000×600	
	51А1 52А2	400	~127 ~220		400	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×1200×800	
	61А1 62А2	630	~127 ~220		630	~127 ~220	~127 ~220		2200× ×1200×800	
ЯУ8255**	11А1 12А2	40	~127 ~220		40	−110 −220	−110 −220		900×600× ×360	*е*
ШУ8255**	21А1 22А2	100	~127 ~220		100	−110 −220	−110 −220	2	2200× ×1200×600	
	31А1 32А2	160	~127 ~220		160	−110 −220	−110 −220			
	41А1 42А2	250	~127 ~220		250	−110 −220	−110 −220			
ШУ8556	61А1 62А2	630	~127 ~220		630	~127 ~220	~127 ~220	Три фазы и нулевой провод	2200× ×1300× ×800	*ж*

* С ослаблением шума магнитных пускателей.

** Переключение с нормального на аварийное питание с выдержкой времени.

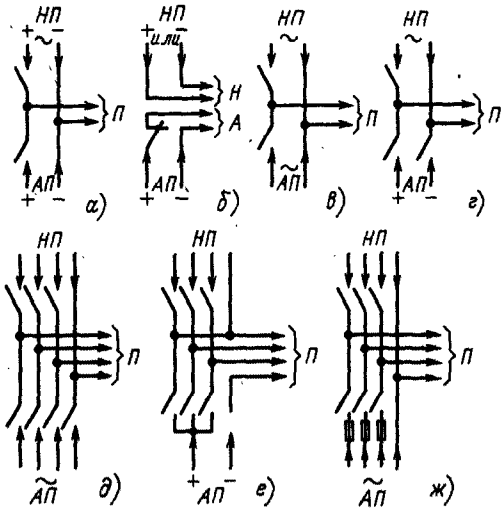


Рис. 4.28. Схемы главных цепей станций автоматического переключения на резерв:
НП — нормальное питание; АП — аварийное питание; П — потребитель; Н — нормальный потребитель; А — аварийный потребитель; *а* — *ж* — номера схем в табл. 4.15

ияется для автоматического включения нормально не горящих светильников, все остальные — для автоматического переключения питания с одного источника электроэнергии на другой. Схемы вторичных цепей станций предусматривают обратное автоматическое переключение на нормальное питание или отключение питания для схемы *б* при появлении напряжения на нормальном источнике. При отсутствии напряжения на нормальном и резервном источниках потребители отключаются со стороны обоих источников. Схемы *д*, *е*, *ж* обеспечивают автоматическое переключение на резервное питание даже в случае, когда пропадает напряжение в одной фазе нормального питания.

Станции автоматического переключения изготовляются для двухстороннего и односторонней обслуживания. Станции двухстороннего обслуживания предназначены для комплектования крупноблочных распределительных устройств двухстороннего обслуживания открытого и закрытого исполнения, а также для индивидуальной установки. Станции одностороннего обслуживания имеют защищенное исполнение, они размещаются в унифицированных ящиках или шкафах, обеспечивающих возможность их поставки как в виде отдельных шкафов навесного типа, так и в составе многоящичных щитов.

Станции автоматического переключения переменного тока имеют два исполнения: без ослабления шума магнитных пускателей и с ослаблением шума, которое достигается питанием катушек пускателей постоянным током через диоды.

4.16. КОМПЛЕКТНЫЕ КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Для повышения коэффициента мощности осветительных установок с разрядными лампами ДРЛ, ДРИ, ДНаТ (см. § 4.9) применяют распределительные пункты ПР41 со встроенными в них трехфазными конденсаторами мощностью по 18 квар (см. § 4.13, табл. 4.11) и комплектные конденсаторные установки с одним, двумя, тремя и четырьмя трехфазными конденсаторами (табл. 4.16, 4.17, рис. 4.29).

Каждый конденсатор подключается к трехфазной групповой линии с разрядными лампами (см. рис. 4.11). Степень защиты оболочек конденсаторных установок IP20. Каждый конденсатор имеет встроенные предохранители и разрядные резисторы.

Конденсаторные установки изготовляются в виде открытой металлической конструкции одностороннего обслуживания с жестко закрепленными в них конденсаторами. Для облегчения монтажа и эксплуатации кабеля и провода, вводимые в конденсаторную установку, присоединяются к наборным контактным зажимам, расположенным со стороны фасада.

Ввод кабелей или проводов возможен как сверху, так и снизу через надрубы в верхней и нижней стенках. Конденсаторные установки допускается размещать в два яруса.

Таблица 4.16. **Технические характеристики комплектных конденсаторных установок**

Тип установки	Номинальная мощность, квар	Количество конденсаторов, шт.	Номинальная мощность конденсатора, квар	Масса, кг
УК2-0,38-50У3	50	2	25	72
УК3-0,36-75У3	75	3		100
УК4-0,38-100У3	100	4		140
УК1-0,415-20Т3	20	1	20	32
УК2-0,415-40Т3	40	2		70
УК3-0,415-60Т3	60	3		102
УК4-0,415-80Т3	80	4		136

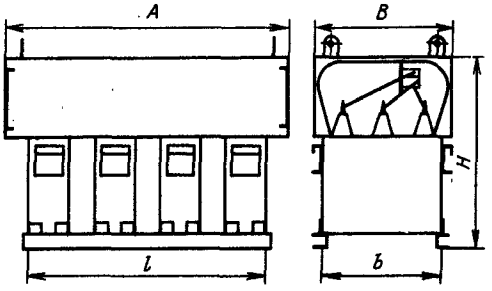


Рис. 4.29. Комплектные конденсаторные установки

Таблица 4.17. **Габариты и установочные размеры комплектных конденсаторных установок**

Тип установки	Размеры, мм (рис. 4.29)				
	Ширина *A*	Глубина *B*	Высота *H*	*l*	*b*
УК2-0,38-50У3	375	430	650	340	364
УК3-0,38-75У3	580			545	
УК4-0,38-100У3	785			750	
УК1-0,415-20Т3	430	126	440	405	80
УК2-0,415-40Т3	375	430	650	340	364
УК3-0,415-60Т3	580			545	
УК4-0,415-80Т3	785			750	

4.17. ПОНИЖАЮЩИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Для питания осветительных сетей малым напряжением (до 42 В) применяют однофазные (рис. 4.30) и трехфазные понижающие трансформаторы. Ниже приведены характеристики однофазного трансформатора:

Однофазный трансформатор ОСОВ-0,25 (рис. 4.30)

Частота, Гц 50, 60
Мощность, кВ·А 0,25
Номинальное напряжение обмоток, В:
первичной 127, 220, 380
вторичной 12, 24, 36, 42
Степень защиты IP65
Масса, кг 6,5

Таблица 4.18. **Ящики ЯТП-0,25 с однофазным понижающим трансформатором**

Тип ящика	Номинальное напряжение, В		Тип защитных аппаратов
	первичное	вторичное	
ЯТП-0,25-11У3	220	12	Е-27
ЯТП-0,25-12У3	220	24	
ЯТП-0,25-13У3	220	36	
ЯТП-0,25-21У3	220	12	АЕ1000
ЯТП-0,25-22У3	220	24	
ЯТП-0,25-23У3	220	36	

Питающий и отходящий кабели вводятся через сальники в крышке трансформатора. На стороне низшего напряжения установлен плавкий предохранитель.

Ящики ЯТП-0,25 с однофазным понижающим трансформатором мощностью 0,25 кВ·А (табл. 4.18) комплектуются предохранителями Е27 или однополюсными автоматическими выключателями АЕ2000 одним со стороны первичного напряжения и двумя со стороны вторичного и одной двухполюсной розеткой 6 А на стороне вторичного напряжения. Степень защиты IP30, климатическое исполнение У3,

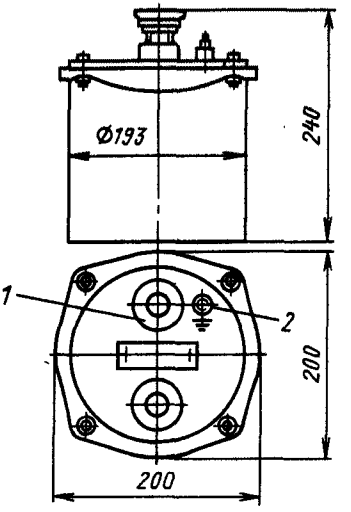


Рис. 4.30. Однофазный трансформатор ОСОВ-0,25:
1 — сальник; *2* — винт заземления

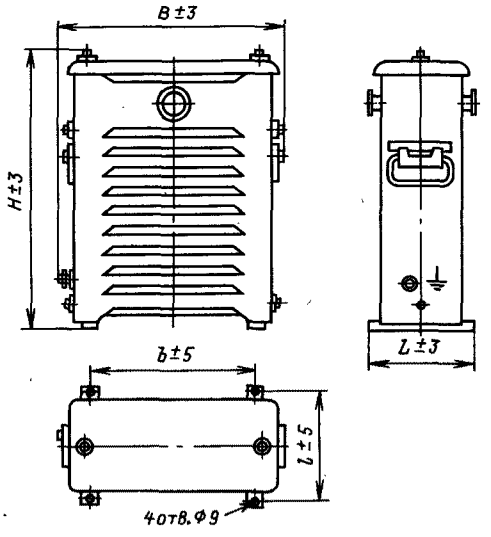


Рис. 4.31. Трехфазные понижающие трансформаторы ТСЗИ. Габаритные и установочные размеры

масса 9 кг, габариты 205×282×130 мм. Изготовляются заводами Главэлектромонтажа ММСС СССР.

Трехфазные трансформаторы ТСЗИ (табл. 4.19, 4.20, рис. 4.31) имеют степень защиты IP20, климатическое исполнение У, ХЛ, Т, категорию размещения 2.

Таблица 4.19. **Технические характеристики трехфазных понижающих трансформаторов ТСЗИ**

Тип трансформатора	Номинальная мощность кВ·А	Номинальное напряжение обмоток, В		Схема и группа соединения обмоток
		первичное	вторичное	
ТСЗИ-0,63УХЛ2 ТСЗИ-0,63У2 ТСЗИ-0,63Т2	0,63	660—380	380—220	У/У-0; Д/Д-0
ТСЗИ-1,0УХЛ2 ТСЗИ-1,0У2 ТСЗИ-1,0Т2	1,0	380—220	220—127	У/У-11; Д/У-1
ТСЗИ-1,6УХЛ2 ТСЗИ-1,6У2 ТСЗИ-1,6Т2	1,6		42, 36, 12	У/Д-11; Д/Д-0
ТСЗИ-2,5УХЛ2 ТСЗИ-2,5У2 ТСЗИ-2,5Т2	2,5			
ТСЗИ-4,0УХЛ2 ТСЗИ-4,0У2 ТСЗИ-4,0Т2	4,0	660—380 380—220	380—220 220—127 42 36	У/У-0-Д/Д-0 У/Д-11; Д/У-1 У/Д-11 Д/Д-0

Таблица 4.20. **Габариты и масса трехфазных понижающих трансформаторов ТСЗИ**

Тип трансформатора	Размеры не более, мм (рис. 4.31)					Масса, кг
	B	*L*	*H*	*b*	*l*	
ТСЗИ-0,63	360	186	245	250	170	16
ТСЗИ-1,0		186	280		170	18,5
ТСЗИ-1,6		198	320		182	25
ТСЗИ-2,5	385	196	430	270	180	33,5
ТСЗИ-4,0		208	505		192	47,5

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ

А. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическая тяга на промышленном транспорте используется на открытых горных разработках, на внутризаводском транспорте и на подъездных путях предприятий. На открытых горных разработках применяют отечественные и зарубежные электровозы постоянного тока серий ЕЛ1, ЕЛ21, ЕЛ2, 21Е, 26Е, тяговые агрегаты ПЭ2М, ПЭ3Т электровозов серии Д94 и тяговые агрегаты ЕЛ10, ЕЛ20, ОПЭ1, ОПЭ2, ОПЭ1А, ОПЭ1Б переменного тока. Для электрифнкации внутризаводских путей используют серийные промышленные электровозы постоянного тока, оборудоваиные дополиительным автономным источником питания. На подъездных путях предприятий используются как промышленные, так и магистральные электровозы.

На горных предприятиях небольшой производительиости и при применении комбиинрованного карьерного транспорта рекомендуется использовать дизель-троллейвозы.

5.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОВОЗЫ И ТЯГОВЫЕ АГРЕГАТЫ

Основные техиические данные промышленных электровозов, работающих на открытых горных разработках, приведены в табл. 5.1.

Электровозы ЕЛ1 (рис. 5.1) и ЕЛ21 шестиосные, имеют двухсекционный кузов с двумя кабинами управления, оборудоваиы двумя центральными и двумя боковыми токоприемниками. Предиазначены для работы на открытых горных разработках с руководящими уклонами до 40-тысячных длиной не более 4,5 км. Надежно работают в диапазоне напряжений 1150—1800 В, температуре окружающей среды от —50 до 40 °С, скорости ветра не более 30 м/с.

Электровоз ЕД21 является модернизированным вариантом электровоза ЕЛ1 (рис. 5.2).

Электровоз ЕЛ2 односекционный, условия эксплуатации, оборудование и узлы в основном такие же, как у электровоза ЕЛ1.

Электровозы 21Е и 26Е состоят из трех отдельных сочлененных секций, кабина управления расположена в средней секции, имеют два центральных и два боковых токоприемника. Электровозы надежно работают в диапазоне напряжений 1150—1800 В, температура окружающей среды от —50 до 40 °С.

Электровоз Д94 предназначен для эксплуатации на путях промышленных предприятий и карьеров с руководящими уклонами до 40-тысячных. Надежно работает при колебаниях напряжения в контактной сети от 7,5 до 11,0 кВ, температуре окружающей среды от —50 до 40 °С. Регулированиие скорости и силы тяги ступенчатое переключением секций вторичной обмотки тягового трансформатора.

При отсутствии электромеханических характеристик карьерных электровозов для выполнения электрических расчетов тяговой сети можно с достаточной степенью точности пользоваться универсальными характеристиками (рис. 5.3).

Тяговый агрегат — это секциоиный электровоз, у которого секциями являются электровоз управления и один или два моторных думпкара, а в агрегате с автономным источником питания, кроме того, может быть дизельная секция. Основные технические данные тяговых агрегатов постоянного и переменного тока приведены в табл. 5.2.

Тяговый агрегат постоянного тока ПЭ2М (рис. 5.4) состоит из электровоза управления и двух моторных думпкаров, надежно работает при колебаниях напряжения в контактной сети от 3850 до 2200 В (режим 3000 В) и от 1950 до 1100 В (режим 1500 В), температуре окружающей среды от —50 до 40 °С, максимальной высоте над уровнем моря 1200 м и скорости ветра до 30 м/с.

Тяговый агрегат постоянного тока ПЭ3Т с частотно-импульсной системой управления состоит из электровоза управления, секции автономного питания и одного моторного думпкара. Он рассчитан на напряжение 1,5 и 3 кВ, может применяться при переводе электрической тяги карьеров с 1,5 на 3 кВ без перерыва работы предприятия. Условия эксплуатации такие же, как у агрегатов ПЭ2М.

Тяговый агрегат переменного тока ЕЛ10 состоит из электровоза, оборудованного установкой автономного питания, и двух мо-

Таблица 5.1. **Основные технические данные промышленных электровозов**

Параметры	Постоянный ток				Переменный ток
	ЕЛ1 (ЕЛ21)	ЕЛ2	21Е	26Е	Д94
Сцепная масса электровоза, т	150(160)	100	150	180	94
Сцепной вес*, кН	1500(1600)	100	1500	1800	940
Осевая формула	$2_0+2_0+2_0$	2_0+2_0	$2_0+2_0+2_0$	$2_0+2_0+2_0$	2_0-2_0
Напряжение сети, В	1500	1500	1500	1500	10 000
Мощность часового режима, кВт	2100	1350	1510	2480	1650
Тяговое усилие часового режима, кН	242	160	198	317	200
Скорость часовая, км/ч	30	30	28	28,7	30
Нагрузка на ось, кН	250	250	250	300	235
Наименьший радиус кривой, м	50	80	60	60	75
Длина электровоза, мм	21 320	13 820	20 960	21 470	16 220
Высота с опущенным пантографом, мм	4850	4660	4800	4984	—
Рабочая высота центрального токоприемника, мм	5100—6500		5100—6500	5240—6840	5500—7000
Рабочая высота боковых токоприемников, мм	4100—5300		4100—4500		4400—5300
Расстояние бокового контактного провода от оси пути, мм	2600—3200		2180—2700	2600—3200	2900—3900

* С округлением до 2 %.

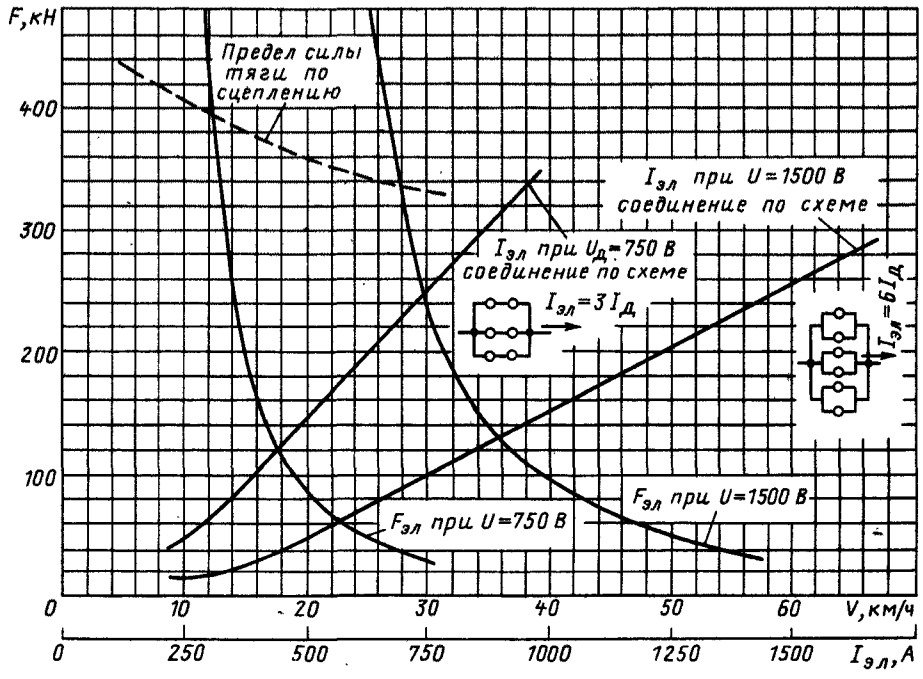


Рис. 5.1. Электромеханические характеристики электровоза серии ЕЛ1 массой 150 т

Таблица 5.2. **Основные технические данные тяговых агрегатов**

Параметры	Постоянный ток		Переменный ток				
	ПЭ2М	ПЭ3Т	ЕЛ10(ЕЛ20)	ОПЭ1	ОПЭ2	ОПЭ1А	ОПЭ1Б
Сцепиая масса, т	368	372	366	360	372	372	372
Сцепной вес *, кН	3680	3720	3660	3600	3720	3720	3720
Состав тягового агрегата	ЭУ+МД+ +МД	ЭУ+ДС+ +МД	ЭУ+МД+ +МД	ЭУ+ДС+ +МД	ЭУ+МД+ +МД	ЭУ+ДС+ +МД	ЭУ+ДС+ +МД
Осевая формула	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$
Напряжение сети, кВ	1,5/3	3	10	10	10	10	10
Мощность часового режима, кВт	2570/5460	5325	4770(5520)	6480	5325	5325	5325
Тяговое усилие часового режима, кН	694	662	680(690)	810	662	662	662
Скорость часовая, км/ч	13,6/28,9	29,5	25,7(28)	30	29,5	29,5	29,5
Нагрузка на ось, кН	310	310	305	300	310	310	310
Грузоподъемность моторного думпкара, т	44	44	55	45	44	44	44
Мощиость дизеля при автономном режиме работы агрегата, кВт	—	1470	550(810)	1470	—	1100	1470
Сила тяги при трогаиии с места, кН	—	540	196(306)	540	—	373	540
Сила тяги при скорости до 20 км/ч	—	168	49(105)	168	—	147	168
Рабочая высота центрального токопрнемника, мм	5500—7000	5500—7000	5370—7270	5650—7150	5600—7100	5600—7100	5600—7100
Рабочая высота боковых токоприемников, мм	4500—5300	4400—5300	4650—5450	4400	4520	4520—5320	4520—5320
Расстояние бокового контактного провода от оси пути, мм	3200—4000	3200—4000	2500—3200	—	3200—4200	3200—4000	3200—4000
Длина по осям автосцепок, мм	51 306	51 306	52 300	59 900	51 306	51 306	51 306
Наимеиьший радиус кривой, м	80	80	80	80	80	80	80

* С округлением до 2 %.

Примечание. ЭУ — электровоз управлеиия, ДС — дизельная секция, МД — моторный думпкар.

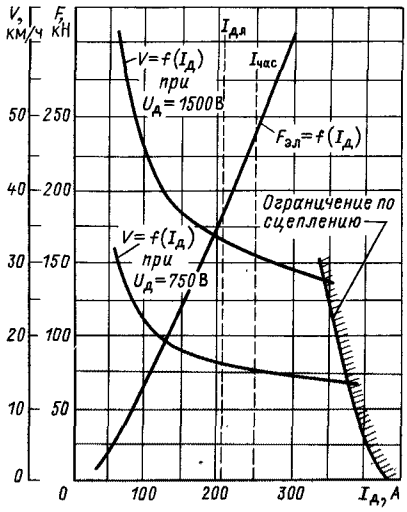


Рис. 5.2. Электромеханические характеристики электровоза ЕЛ21 массой 150 т

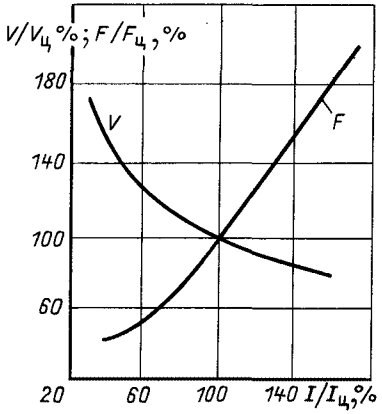


Рис. 5.3. Универсальные характеристики карьерных электровозов

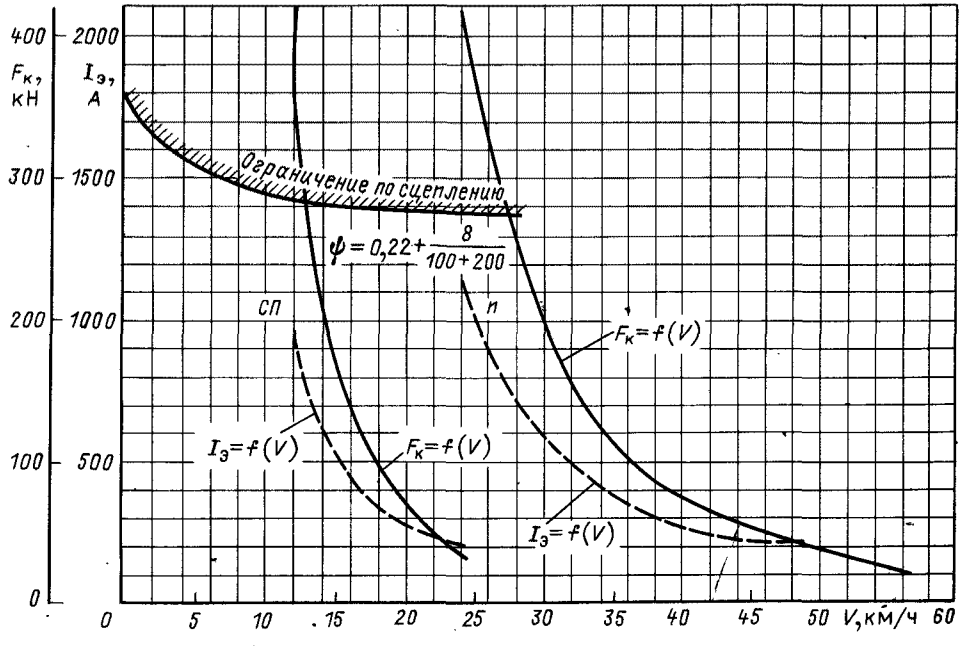
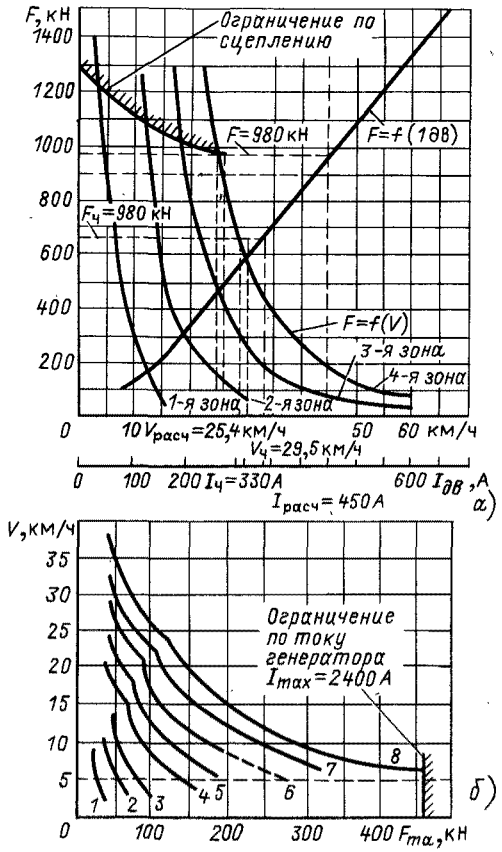


Рис. 5.4. Электромеханические характеристики одной секции тягового агрегата постоянного тока серии ПЭ2М при напряжении 3 кВ



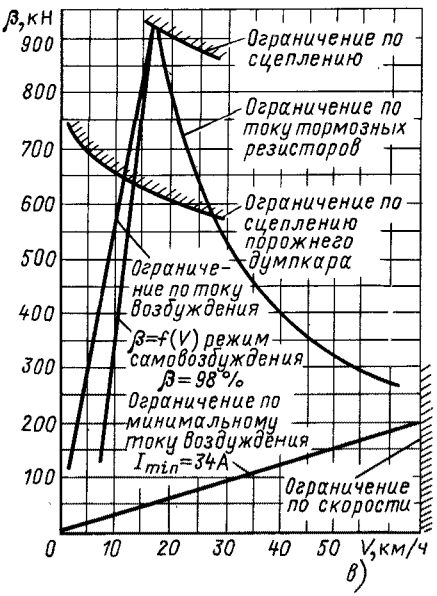


Рис. 5.5. Электромеханические характеристики тягового агрегата переменного тока 10 кВ серии ОПЭ1А:
а — тяговые; *б* — тяговые в автономном режиме; *1—8* позиции контролера машиниста; *в* — тормозные характеристики

торпых думпкаров. Агрегат иадежно работает при колебании напряжения в контактной сети 7—11,5 кВ, температуре окружающего воздуха от —50 до 40 °С и высоте над уровнем моря до 1000 м.

Тяговый агрегат переменного тока ЕЛ20 состоит из электровоза управления с прицепиой секцией автономного питания и двух моторных думпкаров, иадежио работает при колебаниях напряжения в контактной сети от 7000 до 11 500 В, температуре окружающей среды от —50 до 40 °С, высоте над уровнем моря 1000 м и скорости ветра до 30 м/с. Тяговый агрегат предназначеи для работы на электрифицированных путях открытых горных разработок с уклонами до 60-тысячных, а также для работы на погрузочных и разгрузочных тупиках карьеров и отвалов с неэлектрифнцированиыми путямн и уклонами до 15-тысячных.

Тяговый агрегат переменного тока ОПЭ1 состоит из трех секций, электровоза управлеиия и двух моторных думпкаров; иадежно работает при колебаннях иапряжения в контактной сети от 7,0 до 11,5 кВ, при температуре окружающей среды от —50 до +40 °С, высоте над уровнем моря не более 1200 м.

Тяговый агрегат переменного тока ОПЭ2 состоит из электровоза управления и двух моторных думпкаров, надежно работает прн колебаниях напряжения в контактиой сети от 7,0 до 11,5 кВ, высоте над уровнем моря до 1200 м, скорости ветра не более 30 м/с и минимальной температуре окружающей среды вне кузова от —50 до +40 °С.

Тяговые агрегаты ОПЭ1А (рис. 5.5) и ОПЭ1Б состоят из электровоза управления, дизельной секции и моторного думпкара. Различаются они только мощностью автоиомного источнпка пнтания. Агрегаты надежно работают при колебаниях напряжения от 7 до 11,5 кВ, высоте над уровнем моря не более 1200 м, температуре окружающей среды вне кузова —50 °С и скорости ветра не более 30 м/с. Условия эксплуатации такие же, как у агрегата ОПЭ2.

Агрегаты ПЭ2М, ПЭ3Т, ОПЭ2, ОПЭ1А

и ОПЭ1Б предназначены для работы на железнодорожном транспорте открытых горных разработок с руководящими уклонами до 60-тысячных и имеющих неэлектрифицированные участки путей с подъемами до 15-тысячных (ПЭ3Т, ОПЭ1А и ОПЭ1Б).

5.3. ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЛЕЙВОЗЫ

Дизель-троллейвоз (рис. 5.6) представляет собой комбинацию двух машин — автосамосвала с электромеханической трансмиссией и троллейвоза. На подъемах, где карьерные дороги имеют тяжелый профиль, дизель-троллейвоз питается от контактной сети (как троллейвоз); для работы на забойных дорогах в карьере и на отвалах, где по условиям ведения горных работ целесообразно отказаться от контактной сети, электродвигатели мотор-колес питаются от дизель-генераторной установки автосамосвала. Используются дизель-троллейвозы на ограниченных в плане глубоких карьерах с руководящими уклонами до 100-тысячных.

В контактном режиме работы тяговый электропривод дизель-троллейвоза обеспечивает движение на горизонтальном участке дороги длительное движение груженой машины на подъемах 60, 80 и 100-тысячных с максимальной скоростью 40, 19 и 12 км/ч соответственно.

Таблица 5.3. **Основные технические данные дизель-троллейвоза БелАЗ-7519**

Показатели	Технические параметры
Масса перевозимого груза, т	110
Полная масса дизель-троллейвоза с массой перевозимого груза, т	198
Максимальная скорость движения в контактном режиме при полной массе, км/ч	Не менее 40
Наименьший радиус поворота по оси следа переднего внешнего (относительно центра поворота) колеса, м	Не более 12
Мощность, кВт:	
дизеля	956
генератора	630
Суммарная мощность мотор-колес	720
Напряжение контактной сети, В	825
Расстояние между контактными проводами, м	3,5
Вертикальное перемещение токоприемника при движении, мм	±500
Горизонтальное перемещение дизель-троллейвоза относительно осевой линии контактной сети, мм	±1200
Габарит подвески контактных проводов, м	7

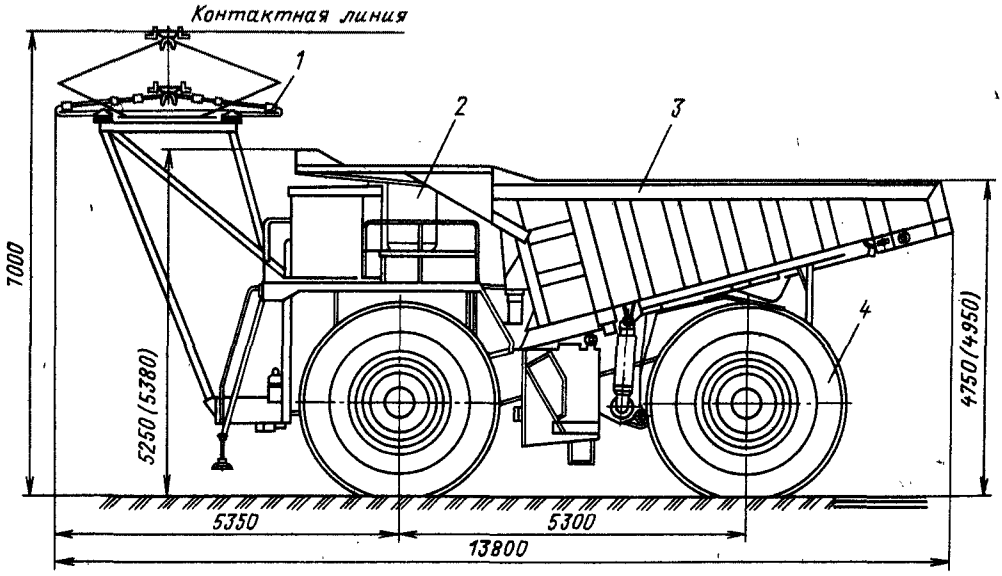


Рис. 5.6. Дизель-троллейвоз грузоподъемностью 110 т:
1 — токоприемники; *2* — кабина водителя; *3* — кузов ковшового типа; *4* — ведущие мотор-колеса

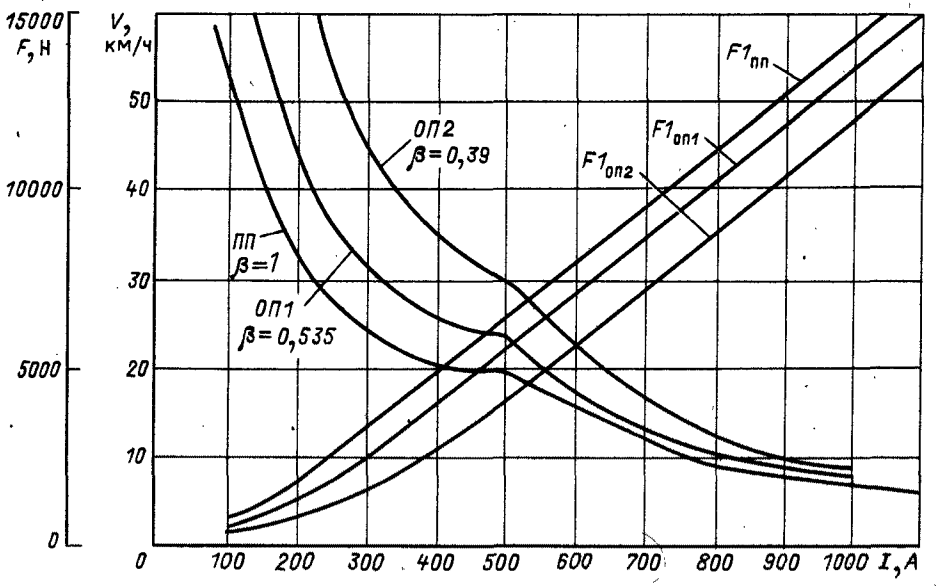


Рис. 5.7. Электромеханические характеристнки двигателя ДК-722 мотор-колеса

Основные технические данные дизель-троллейвоза БелАЗ-7519 приведены в табл. 5.3, электромеханические характеристнки двигателя мотор-колеса машины даны на рис. 5.7.

5.4. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

На движущийся поезд действуют разлнчные по направлению и значению силы. Основное влияние на двнжение поезда оказывают сила тяги $F_к$, сила сопротнвления ω и тормозная сила B.

Сила тяги электровоза $F_к$, Н:

$$F_к = 100 m_л g \Psi K_с, \qquad (5.1)$$

где Ψ — расчетный коэффициеит сцепления (табл. 5.4); $m_л$ — масса электровоза (локомотива), т; $g = 9{,}81$ м/с^2 — ускорение свободного падения; $K_с$ — коэффициент использованиия сцепного веса электровоза ($m_л g$), учитывающий перераспределение нагрузок между осямн электровоза, лимитирующимн сцепление; для электровозов $K_с = 0{,}97 \div 0{,}98$; для тяговых агрегатов $K_с = 0{,}95 \div 0{,}96$.

Силы сопротивлении движению. На поезд при его перемещении действуют следующие силы сопротивлення движенню: основиое сопротнвление движеиию электровоза w_0'; основное сопротнвление движению вагонов w_0''; дополнительное сопротивление движению поезда при трогании с места $w_т$; дополнительное сопротивление движению поезда от приведен-

Таблица 5.4. **Рекомеидуемые расчетные коэффнцненты сцепленя $\Psi_к$ в зависимости от эксплуатацноиных условнй электровозов**

Условия преодоления руководящего подъема	Электровозы		Типы тяговых агрегатов		
	постоянного тока	переменного тока	ПЭ2М, ПЭ1	ЕЛ10, ОПЭ1	ЕЛ20, ОПЭ2, ОПЭ1А, ОПЭ1Б, ПЭ3Т
Возможно трогание н разгон поезда на руководящем подъеме	0,23	0,245	0,23	0,245	0,265
Руководящий подъем преодолевается только с хода	0,245	0,265	0,245	0,265	0,265

ного уклона w_i; дополнительное сопротивление движению от кривой $w_к$.

Удельное основное сопротнвление двнжению карьерных электровозов при двнжении под током

$$w_0' = 2{,}8 + 0{,}08v; \qquad (5.2)$$

при движении без тока

$$w_х' = 3{,}6 + 0{,}09v. \qquad (5.3)$$

Для четырехосных груженых думпкаров нормальной колеи на постоянных путях

$$w_0'' = 3{,}1 + 0{,}02v; \qquad (5.4)$$

для шести- и восьмиосных думпкаров

$$w_0'' = 3{,}6 + 0{,}04v. \qquad (5.5)$$

В расчетах принято пользоваться основным удельным сопротивлением (Н/кН) поезда в целом:

$$w_0 = \frac{w_0' m_л g + w_0'' m_с g}{m_л g + m_с g}, \qquad (5.6)$$

где $m_л$ — масса электровоза; $m_с$ — масса прицепной части состава, т.

В приближенных расчетах для условий движения по стационарным путям карьеров $w_0 = 4 \div 4{,}5$ Н/кН, по передвижным $w_0 = 5 \div 5{,}5$ Н/кН.

При движенин вперед вагонами сопротивление движению поезда w_0 увеличивается на 20—25 %.

Удельное сопротивление от уклона (Н/кН)

$$w_i = \pm i, \qquad (5.7)$$

где знак «+» принимается при движении по подъему, знак «—» при спуске; i — крутизна уклоиа в тысячных долях (%).

Для всех видов подвижного состава удельное сопротивление от кривизны пути (Н/кН):

при радиусе кривой R свыше 300 м

$$w_r = \frac{700}{R}; \qquad (5.8)$$

при радиусе кривой R до 300 м

$$w_r = \frac{900}{100 + R}. \qquad (5.9)$$

Дополнительное сопротивление при трогании с места определяется ускореннем при трогании и коэффициентом ннерции вращающихся масс

$$w_{тр} = 110a, \qquad (5.10)$$

где a — ускоренне при трогании поезда, м/с^2.

Полное сопротивление движению поезда W, Н, определяется суммой сопротивлений

$$W = m_л g (w_0' + w_r \pm i + w_{тр}) + (w_0'' + w_r \pm i + w_{тр}). \qquad (5.11)$$

Тормозная сила поезда $B_к$ определяется, Н,

$$B_к = 1000 \Sigma K \varphi_к, \qquad (5.12)$$

где ΣK — сумма действнтельных нажатий тормозных колодок (табл. 5.5); $\varphi_к$ — коэффициент трения тормозных колодок о колесо.

Для чугунных стандартных колодок

$$\varphi_к = 0{,}78 \frac{16K + 100g}{80K + 100g} \cdot \frac{100}{3{,}18v + 100};$$

для компознционных (металлопластмассовых) колодок

$$\varphi_к = 0{,}603 \frac{5K + 100g}{20K + 100g} \cdot \frac{100}{1{,}4v + 100}.$$

Удельиая тормозная сила, Н/кН,

$$b_к = 1000 \varphi_к \gamma, \qquad (5.13)$$

где γ — тормозной коэффициент поезда:

$$\gamma = \frac{\Sigma K}{(m_л + m_с) g}.$$

Полный тормозной путь, м,

$$S_т = S_п + S_д, \qquad (5.14)$$

где $S_п$ — подготовительный путь торможенния, м; $S_д$ — действительный путь торможеиия, м.

При уклонах до 20 %

$$S_п = 0{,}278 v_н t_п; \qquad (5.15)$$

при движенни по более крутым уклонам карьера

$$S_п = \frac{v_н t_п}{3{,}6} + 4{,}62 \cdot 10^{-4} g (i - \omega_0) t_п^2, \qquad (5.16)$$

где $v_н$ — скорость начала торможения, $v_н = 30$ км/ч; $t_п$ — время приведения тормозов в действие, $t_п = 5$ с.

Действительный тормозной путь

$$S_д = \frac{4{,}24 (v_н^2 - v_к^2)}{b_к + \omega_0 - i}, \qquad (5.17)$$

где $v_к$ — конечная скорость при торможении, км/ч. При торможении до остановки $v_к = 0$.

Расчетный тормозной путь $S_т$ для карьерных условий устанавливается 300 м.

Совместное прнменение пневматического тормоза поезда и магнниторельсового на тяговом агрегате повышает тормозную силу поезда на 30 %, что соответственно позволяет уменьшить длину тормозного пути на 25—30 % или увеличить допускаемые скоростн двнжения.

Таблица 5.5. **Сила нажатия тормозных колодок для различного подвижного состава**

Тип подвижиого состава	Сила нажатия, кН, при давлении, МПа, в тормозном цилиндре					
	0,4		0,36		0,14	
	тормозиой колодки	суммариая всех колодок	тормозной колодкн	суммарная всех колодок	тормозной колодки	суммарная всех колодок
Электровоз ЕЛ1	69	828	42	504	20	240
Тяговый агрегат: ПЭ2М, ОПЭ2, ОПЭ1А, ОПЭ1Б, ПЭ3Т (три секции)	43/19	2064/912	26/12	1248/576	12/5	576/240
ОПЭ1 (три секции)	50	2400	32	1536	15	720
Думпкары:						
6ВС-60	37/24	296/192	23/15	184/120	11/9	88/72
2ВС-85	35	420	22	264	11	132
2ВС-105	38/22	368/216	24/14	232/136	12/7	120/64
ВС-180	—/22	—/352	—/14	—/224	—/7	—/112

Примечание. В числителе приведены данные для чугуиных колодок, в знаменателе — для композиционных.

Определение массы поезда и сцепной массы электровоза на расчетном уклоне. В расчетных формулах введены следующие обозначения:

$F_к$ — сила тяги электровоза, Н;

$m_с$ — масса прицепной частн состава, т;

$q_м$ — грузоподъемность моторного думпкара, т;

$n_{м.д}$ — число моторных думпкаров;

q — грузоподъемиость прицепного вагона, т;

$q_т$ — тара прицепного вагона, т;

$k_т$ — коэффициент тары прицепного вагона;

$i_{тр}$ — уклон элемента профиля, на котором происходнт трогание состава, ‰;

$a=0{,}03\div0{,}05$ м/с^2 — ускоренне при трогании;

$g=9{,}81$ м/с^2 — ускорение свободного падения.

Масса состава при равномерном движении поезда

$$m_с=\frac{F-m_л g\,(\omega_0'-i_р)}{(\omega_0''+i_р)\,g}. \qquad (5.18)$$

При использовании тяговых агрегатов можно комплектовать локомотив из нескольких секций различного назначения:

$$m_л=m_{э.у}+m_{а.п};$$

$$m_л=m_{э.у}+m_{а.п}+m_{м.д};$$

$$m_л=m_{э.у}+2m_{м.д},$$

где $m_{э.у}$ — масса электровоза управления; $m_{а.п}$ — масса секции автономного питания; $m_{м.д}$ — масса груженого думпкара.

Количество вагонов в составе

$$n=\frac{m_с}{q+q_т}=\frac{m_с}{q\,(1+K_т)}. \qquad (5.19)$$

Полезная масса состава

$$nq=\frac{m_с}{1+K_т}. \qquad (5.20)$$

При наличии в составе одного или двух моторных думпкаров полезная масса состава

$$nq=\frac{m_с}{1+K_т}+q_м n_{м.д}. \qquad (5.21)$$

При остановке поезда на руководящем или смягченном уклоне проверяют принятую массу состава по условням трогання на заданном профиле:

$$m_с=\frac{m_л g\,(1000\Psi_{тр}\kappa_с-\omega_0'-i_{тр})-110\,a}{(\omega_0''+i_{тр}+110a)\,g}. \qquad (5.22)$$

При использовании секции автоиомного питания, когда сила тяги ограничивается мощностью дизеля, масса прицепной частн поезда

$$m_с=\frac{3600\,\frac{P_{эф}}{v}\eta_г\eta_{с.л}\eta_{д.з}-m_л g\,(\omega'-i_р)}{(\omega_0''+i_р)\,g}, \qquad (5.23)$$

где $P_{эф}$ — эффективная мощность дизеля, кВт; v — скорость движенння поезда на внутрикарьерных путях, км/ч; $\eta_г$ — КПД генера-

тора; $\eta_{с.л}$ — коэффициент, учитывающий потери энергии для собственных нужд дизельной секции; $\eta_{д.з}$ — КПД электродвигателя и зубчатой передачи.

Расчет времени хода поезда, расхода электроэнергии и проверка тяговых электродвигателей на нагревание. Точные методы расчета основаны на графическом или аналитическом интегрировании уравнения движения и отличаются большой сложностью и трудоемкостью.

Для промышленного транспорта допускается меньшая точность тяговых расчетов по сравнению с железнодорожным транспортом. Поэтому при тяговых расчетах карьерного транспорта рекомендуется пользоваться приближенным методом установившихся скоростей, основанным на предположении, что в пределах каждого элемента профиля поезд движется с равномерной установившейся скоростью, мгновенно изменяющейся при переходе на новый элемент профиля. Для определения установившейся (равномерной) скорости движения пользуются тяговыми характеристиками электровоза. Сила тяги при равномерном движении по каждому элементу профиля

$$F = m_л (\omega_0' \pm i_с)\, g + m_с (\omega_0'' \pm i_с)\, g, \quad (5.24)$$

где $i_с$ — спрямленный участок профиля;

$$i = \frac{h_к - h_н}{\Sigma L_i},$$

где $h_н$ и $h_к$ — начальная и конечная отметки спрямляемого участка, м; L_i — длина каждого элемента профиля, вошедшего в спрямляемый участок, м.

Допускается спрямлять участки только близкие по крутизне и одного знака. Условия допустимости спрямления проверяются для каждого элемента на спрямленном участке:

$$L_i = \frac{200}{\Delta i},$$

где Δi — абсолютная разность между условным уклоном спрямляемого участка и уклоном проверяемого элемента, %.

При наличии на участке кривых уклон спрямляемого участка

$$i_с' = i + i_{доп}, \quad (5.25)$$

где $i_{доп}$ — эквивалентный дополнительный подъем, %,

$$i_{доп} = \frac{700}{R} \frac{L_r}{\Sigma L_i};$$

здесь R — радиус кривой, м; L_R — длина кривого участка пути, м.

Спрямление профиля карьерного пути дает возможность представить его состоящим лишь из нескольких, существенно отличных элементов. Обычно это участки пути на уступе, в выездной траншее, на поверхности, при заезде на отвал и на отвале.

По скорости v, км/ч, определяют время движения t, ч, по данному участку пути длиной L, км,

$$t = \frac{L}{v}. \quad (5.26)$$

Общее время движения поезда

$$t_{дв} = \Sigma t_{гр} + \Sigma t_{пор} + t_{р.з}, \quad (5.27)$$

где $\Sigma t_{гр}$ и $\Sigma t_{пор}$ — общее время движения с грузом и обратно порожним (без груза), ч; $t_{р.з}$ — время разгона, замедления, вводится в случае остановки поезда и составляет 2 мин на каждый разгон и 1 мин на замедление.

Расход электроэнергии на движение поезда, отнесенный к токоприемнику электровоза, кВт·ч,

$$W_{дв} = \Sigma I_i U_{ср} t_i \cdot 10^{-3}, \quad (5.28)$$

где I_i — ток, потребляемый электровозом (тяговым агрегатом) на каждом элементе профиля, А; t_i — время движения по данному элементу профиля, ч; $U_{ср}$ — среднее значение напряжения в контактном проводе, В.

Общий расход электроэнергии за время одного оборота поезда, кВт·ч,

$$W_{общ} = W_{дв} + W_{с.н} + W_{ман}, \quad (5.29)$$

где $W_{дв}$ — расход электроэнергии на движение, кВт·ч; $W_{с.н}$ — расход электроэнергии на собственные нужды, $W_{с.н} = (0{,}05 \div 0{,}1)\, W_{дв}$, кВт·ч; $W_{ман}$ — расход электроэнергии на маневровую работу, $W_{ман} = (0{,}1 \div 0{,}2)\, W_{дв}$, кВт·ч.

Удельный расход электроэнергии, отнесенный к 1 т груза, a', кВт·ч/т, и к 1 т·км, a'', кВт·ч/(т·км):

$$a' = \frac{W_{общ}}{nq}; \qquad a'' = \frac{W_{общ}}{nqL}. \quad (5.30)$$

Подсчитанный расход электроэнергии учитывает только движение электровоза. При установлении общего расхода энергии необходимо учитывать ее потери в тяговой сети (10—12 % общего расхода электроэнергии) и на тяговых подстанциях (3—5 %).

Для контактно-дизельных электровозов расход электроэнергии на выводах тяговых двигателей в режиме движения с питанием от автономного источника может быть принят

Таблица 5.6. **Часовой расход дизельного топлива локомотивов двойного питания**

Тяговый агрегат с вспомогательным автономным питанием	Расход дизельного топлива, кг/ч	
	на стоянках на холостую работу дизеля на собственные нужды	при движении только на собственные нужды
ОПЭ1, ОПЭ1Б, ПЭ3Т	27	22
ОПЭ1А	19	14

5—10 % расхода энергии на электрифицированных путях $W_{общ}$ и приведен к выводам зарядного агрегата (кВт·ч) или к дизельному топливу (кг) умножением на коэффициент 1,4 или 0,4 соответственно.

Расход дизельного топлива на собственные нужды во время движения в контактном режиме при работающем дизель-генераторе, кг,

$$\Sigma E_{в.д} = \Delta E t_д. \qquad (5.31)$$

К этим расходам дизельного топлива должны быть прибавлены расходы на вспомогательные нужды и холостую работу дизель-генераторов во время стоянки, кг,

$$\Sigma E_{в.с} = \Delta E_{в.с} t_с, \qquad (5.32)$$

где $\Delta E_{в.д}$ и $\Delta E_{в.с}$ — часовые расходы дизельного топлива во время движения и стоянок (табл. 5.6); $t_д$ и $t_с$ — число часов движения и стоянок за рейс или за год в режиме автономной работы.

Для внутризаводского электрифицированного транспорта расход электроэнергии на движение на шинах тяговой подстанции определяется по формуле, кВт·ч,

$$W_{год} \Sigma ML (1 + K_{ман}) \Delta W_{зав}, \qquad (5.33)$$

где ΣML — годовая работа подвижного состава брутто, т·км; $K_{ман}$ — коэффициент, учитывающий маневренную работу, принимаемый 0,1—0,25 в зависимости от объема неучтенной работы; $\Delta W_{зав}$ — удельный расход электроэнергии на движение; $\Delta W_{зав} = 0{,}035 \div 0{,}04$ кВт·ч/(т·км).

Проверка тяговых двигателей электровозов и моторных думпкаров на нагревание производится по эффективному току (среднеквадратичному) $I_{эф}$, определяемому для наиболее тяжелого режима работы за время одного цикла:

$$I_{эф} = K_м \sqrt{\frac{\Sigma I_i^2 t_i}{T_р}}, \qquad (5.34)$$

где I_i — ток двигателя на отдельных участках пути, А; t_i — время движения по участку данного профиля, ч; $T_р$ — время рейса (оборота) поезда, ч; $K_м = 1{,}05 \div 1{,}1$ — коэффициент, учитывающий нагревание двигателей в процессе экскаваторной погрузки и разгрузки составов, а также при маневрах. С достаточной степенью точности эффективный ток может быть определен, А,

$$I_{эф} = \frac{1 + \alpha_с^2}{2\alpha_с} \sqrt{\frac{t_{ход}}{T_р}} I_{ср}, \qquad (5.35)$$

где $I_{ср}$ — средний ток поезда, А; $t_{ход}$ — время движения электровоза под током, ч; $\alpha_с$ — отношение скорости выхода двигателя на автоматическую характеристику к установившейся скорости.

Средний поездной ток определяется в данном случае по формуле, А,

$$I_{ср} = \frac{1000 W_{дв}}{T_р U_{ср}}, \qquad (5.36)$$

где $U_{ср}$ — среднее напряжение на сборных шинах выпрямительной установки электровозов переменного тока и на токоприемнике электровозов постоянного тока, В; $W_{дв}$ — расход энергии на движение по перегону, кВт·ч.

Двигатели не перегреваются при условии $I_{эф} \leqslant K_з I_{дл}$, где $I_{дл}$ — длительный ток двигателя, А; $K_з$ — коэффициент запаса (учитывающий повышение температуры двигателя в отдельные периоды работы с большими нагрузками), повышается с увеличением глубины карьера и находится в пределах $K_з = 1{,}1 \div 1{,}2$ при изменении глубины до 300 м. Значение допустимого длительного тока тягового двигателя можно принять равным $0{,}85 I_ч$ для тяговых двигателей с принудительной вентиляцией; $0{,}6 I_ч$ — для тяговых двигателей с самовентиляцией; $0{,}4 I_ч$ — для закрытых тяговых двигателей.

5.5. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЛЕЙВОЗНОМ ТРАНСПОРТЕ

В основу тяговых расчетов, как и при рельсовом транспорте, положено определение всех сил, действующих на подвижной состав при его движении.

Касательная сила тяги $F_к$, Н, на движу-

щихся колесах

$$F_к = \frac{3600P}{v}\eta_{о.м}\eta_т, \qquad (5.37)$$

где P — мощность двигателя, кВт; v — скорость движения, км/ч; $\eta_{о.м} = 0{,}85 \div 0{,}88$ — коэффициент отбора мощности, учитывающий расход мощности на вспомогательные нужды; $\eta_т$ = КПД трансмиссии, $\eta_т = 0{,}6 \div 0{,}71$.

Максимальное тяговое усилие, Н,

$$F_{max} \leqslant 1000 m_{сц} g \Psi, \qquad (5.38)$$

где $m_{сц}$ — сцепной вес дизель-троллейвоза — сила нажатия ведущих колес на полотно дороги, кН; $m_{сц}$ — масса дизель-троллейвоза, приходящаяся на движущие колеса (сцепная масса), т; Ψ — коэффициент сцепления; $g = 9{,}81$ м/с^2 — ускорение свободного падения.

Коэффициент сцепления зависит главным образом от типа дорожного покрытия и его состояния и приведен ниже:

Дороги	Коэффициент сцепления при дорожном покрытии: сухом	мокром
С постоянным асфальтобетонным, бетонным, щебеночным покрытием	0,7	0,45
С обработкой вяжущими материалами (забойные и отвальные):		
укатанные	0,6	0,45
неукатанные	0,45	0,3

На дорогах, покрытых снегом, коэффициент сцепления снижается до 0,2—0,3, на обледенелых дорогах — до 0,15—0,2.

Суммарное сопротивление движению дизель-троллейвоза

$$W = W_о + W_в \pm W_i + W_r + W_j, \qquad (5.39)$$

где $W_о$ — сопротивление качению колеса по дороге, Н; W_i — сопротивление уклону, Н; W_r — сопротивление на кривых участках пути, Н; W_j — инерционное сопротивление при неустановившихся режимах движения, Н; $W_в$ — сопротивление воздуха, Н.

Основное сопротивление движению, Н,

$$W_о = \omega_о m_{д.т} g, \qquad (5.40)$$

где $m_{д.т}$ — вес дизеля-троллейвоза, кН; $\omega_о$ — удельное основное сопротивление движению, Н/кН. Значения $\omega_о$ при различных видах дорог и их покрытиях следующие:

Главные откаточные дороги с покрытием:	
бетонным, асфальтовым	15
щебеночным, гравийным, с обработкой вяжущими средствами	20—25
Забойные дороги:	
на скальных породах	40—50
на рыхлых породах	50—60
Отвальные дороги:	
на скальных породах	60—80
на рыхлых породах	100—150

Приведенные значения относятся к груженым дизель-троллейвозам. Для порожних эти значения увеличиваются на 20—25 %.

Сопротивление движению воздушной среды, Н,

$$W_в = \lambda S_{д.т} (v_{д.т} \pm v_в)^2, \qquad (5.41)$$

где λ — коэффициент, учитывающий обтекаемость дизель-троллейвоза, $\lambda = 5{,}5 \div 7$; $S_{д.т}$ — лобовая поверхность дизель-троллейвоза, $S_{д.т} = 25{,}3$ м^2 (для БелАЗ-7519); $v_{д.т}$ — скорость движения дизель-троллейвоза, км/ч; $v_в$ — составляющая скорости ветра, параллельная направлению движения дизель-троллейвоза, км/ч. Значение $S_{д.т}$ приближенно определяется как произведение колеи дизель-троллейвоза на его высоту; сопротивление воздушной среды учитывается при сумме скоростей $v_{д.т}$ и $v_в$ выше 15 км/ч.

Сила сопротивления движению от уклона дороги, Н, равна наклонной составляющей веса дизель-троллейвоза:

$$W_i = w_i m_{д.т} g, \qquad (5.42)$$

где $w = \pm i$ — удельное сопротивление уклона, Н/кН, численно равное уклону, %.

Сопротивление на кривой, Н,

$$W_r = 300 \frac{200 - R}{200} R, \qquad (5.43)$$

где R — радиус кривой, м (сопротивление от кривой по приведенной формуле учитывается при $R < 50 \div 70$ м).

Сила сопротивления, вызванного инерцией вращающихся масс дизель-троллейвоза, Н,

$$W_j = 1000(1 + \gamma)\, a m_{д.т} g, \qquad (5.44)$$

где $\gamma = 0{,}1 \div 0{,}15$ — коэффициент инерции вращающихся масс; a — ускорение (замедление) дизель-троллейвоза, м/с^2.

Уравнение движения при дизель-троллейвозном транспорте

$$\frac{F_к - W_в}{m_{д.т} g} = w_о \pm i + w_к \pm j, \qquad (5.45)$$

где $\frac{F_к - W_в}{m_{д.т} g} = Д$ — динамический фактор машины, Н/кН.

10 кВ. Напряженне 0,55 кВ применяют только на действующих карьерах при расширении зон работы транспорта. Внутризаводской транспорт работает на постоянном токе напряжением 0,25; 0,55; 1,5 и 3 кВ. Напряжения 0,25 и 0,55 кВ используют при электрификации внутрицеховых железнодорожных путей. Напряженне 25 кВ однофазного переменного тока применяют только для электрификации подъездных путей заводов.

Система электроснабжения промышленных электровозов состоит из внешней сети, тяговых подстанций и тяговой сети.

Схемы внешней сети. Эти схемы для промышленного транспорта в принципе не отличаются от применяемых типовых схем электроснабження промышленных предприятий. По требованням бесперебойности питания промышленный транспорт относится к потребителям *II* категории нагрузок. Как правило, тяговые подстанции получают питание по двум высоковольтным линиям напряжением 35 или 110 кВ. В отдельных случаях допускается питание подстанций от одной воздушной или кабельной линии, причем последняя должна состоять не менее чем из двух кабелей, присоединяемых через отдельные разъединители. При выборе пропускной способности питающих линий, подведенных к тяговой подстанции, исходят из того условия, что при выходе из строя одной линии другая должна обеспечить передачу 100 % расчетной мощности в аварийном режиме.

Тяговые подстанции. В зависимости от схем подключения к источникам питания тяговые подстанции могут быть промежуточными отпаечными, промежуточными проходными и тупнковымн. Наиболее распространенными на промышленном транспорте являются совмещенные подстанции, питающие тяговую и промышленную нагрузки. К основному оборудованию тяговой подстанции постоянного тока относятся трансформаторы, выпрямительные агрегаты, быстродействующие автоматические выключатели и специальные устройства для сглажнвання пульсации выпрямленного напряженя. На подстанцнях переменного тока для питания тяговой нагрузки устанавливают не менее двух понизительных двухобмоточных трехфазных трансформаторов мощностью от 6,3 до 25 МВ·А с первичным напряжением 35, 110 и 220 кВ. Вторичные обмотки их соединены треугольником. Две фазы трансформатора присоединяют к двум секционированным участкам контактной сети, третью фазу — к тяговым рельсам. Трансформаторы на стороне низшего напряженя включают параллельно. В качестве коммутирующего аппарата используют камеры КРУ с трехфазными масляными выключателями или камеры ВЭМ с электромагнитными выключателями.

Схемы питания и секционирования контактных сетей. На промышленном транспорте, как правило, применяют односторониее питание контактной сети. Всю контактную сеть делят на секции — отдельные изолированные участки, которые получают питанне по самостоятельным линиям. Секции контактной сети разделены секционнымн изоляторами, нейтральными вставками или изолирующими сопряжениями. Секционные изоляторы устанавливают на прямых и горизонтальных участках пути, а в особо трудных условиях — на уклонах, не превышающих 10 %. При уклонах более 10 % секционирование выполняют с использованием изолирующего сопряжения.

Схема электрического питания и секционнрованиия контактной сети определяется транспортной схемой и технологическим процессом предприятия. Основное назначение схемы питания и секцнонирования — обеспечение бесперебойного питания всех участков контактной сети в условиях нормальной эксплуатации и в аварийных режимах.

При составлении схемы питания в секционировании учитывают следующие основные условия:

контактная сеть передвижных карьерных и отвальных путей отделяется от контактной сети главных откаточных путей;

одной линией питаются одновременно не более трех погрузочных фронтов карьера или трех разгрузочных фронтов на отвале (по числу работающих экскаваторов);

станционные пути, как правило, электрически отделяются от главных откаточных путей (продольное секцнонирование) и имеют самостоятельное питание;

на станциях с однопутными подъездными путями с числом электрифицируемых путей более четырех и на станциях с двухпутными подъездными путями и числом электрифицируемых путей более восьми предусматривается электрическое разделение контактной сети на параллельные группы (поперечное секционирование);

на станциях, имеющих несколько электрифицируемых парков и отдельных групп электрнфицируемых путей, предусматривается секционирование этих парков илн групп.

На рудных карьерах и угольных разрезах, имеющих разветвленную контактную сеть и удаленные друг от друга карьеры, отвалы и обогатительные фабрики, контактная сеть может получать питание как по линиям, отходящим от распределительных устройств тяговых подстанций, так и по линиям, отходящим от распределительных постов контактной сети.

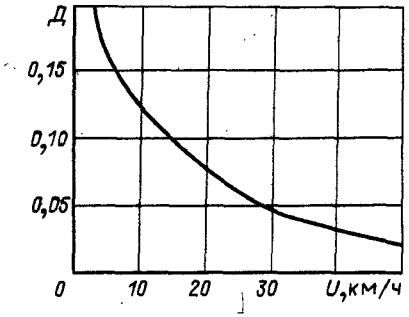


Рис. 5.8. Диинамическая характеристика дизель-троллейвоза БелАЗ-7519

Динамический фактор ограничивается условием сцеплеиия колес с полотном дороги:

$$Д_{max} \leqslant \frac{F_{max} - W_в}{m_{д.т} g}. \qquad (5.46)$$

Наибольший подъем пути (%) определяется по величнне динамического фактора

$$i_{max} = Д_{max} - \omega_o - j. \qquad (5.47)$$

Динамическая характеристика дизель-троллейвоза БелАЗ-7519 приведена на рис. 5.8.

В проектной практике предельный уклон рекомендуется прииимать обоснованным по технико-экономическим соображениям и проверять по i_{max}.

Масса дизель-троллейвоза определяется его грузоподъемностью. При использовании прицепов полная масса, т, прицепной части

$$m_п = \frac{F_к - m_{д.т.}(\omega_o + i) g}{(\omega_o + i) g}. \qquad (5.48)$$

Проверка электродвигателей мотор-колес на нагревание производится по эффективному току

$$I_{эф} = \sqrt{\frac{\Sigma I_i^2 t_i}{T_р}}, \qquad (5.49)$$

где I_i — ток электродвигателя мотор-колеса на отдельных участках дороги, А; t_i — время движения по участку даиого профиля, ч; $T_р$ — время рейса дизель-троллейвоза, ч.

Значения тока при движении на каждом элементе профиля принимается по электромеханической характеристике электродвигателя (по известному динамическому фактору).

Расход энергии определяется по работе, затрачиваемой дизель-троллейвозом на транспортирование груза. При траиспортировании груза из глубинного карьера (снизу вверх) работа по транспортированию, кДж,

$$A = (q + q_т)(\omega_o L + H) g + $$

$$+ q_т (L - L_т) \omega_o g. \qquad (5.50)$$

При перемещении груза в нагорных карьерах (движение сверху вниз)

$$A = q_т (\omega_o L + H) g + $$

$$+ (q + q_т)(L - L_т) \omega_o g, \qquad (5.51)$$

где q — грузоподъемиость дизель-троллейвоза, т; $q_т$ — масса тары днзель-троллейвоза, т; ω_o — основное удельное сопротивление движению, Н/кН; L — расстояние траиспортироваиия, км; H — высота подъема груза, м; $L_т$ — протяженность участков, на которых производится торможение дизель-троллейвоза, км.

Расход жидкого топлива при движенин от автоиомного источника энергии

$$E_р = A' \frac{1}{q'_{т.с} \eta}, \qquad (5.52)$$

где A' — работа, совершаемая дизель-троллейвозом прн движенни от дизель-генераторной установки, кДж; $q'_{т.с} = 41{,}868 \cdot 10^3$ — удельная теплота сгораиия дизельного топлива; η — КПД двигателя внутреннего сгорания и трансмиссйи.

Для ориентировочной оценки рекомендуется принимать расход топлива (л/100 км) в средних условиях для дизель-троллейвозов грузоподъемностью 110 и 180 т соответственно 750 и 1400 л.

Б. РАСЧЕТЫ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

5.6. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Для электрификации промышленных железиых дорог применяют постоянный ток с номииальными значениями напряжения в контактиой сети 0,55; 1,5 и 3 кВ (на шинах тяговых подстаиций 0,6; 1,65 и 3,3 кВ) и переменный ток с номнальными значеииями напряжения в контактной сети 10 и 25 кВ (на шинах тяговых подстанций 11,5 и 27,5 кВ).

На открытых горных разработках используют постоянный ток напряжением 0,55; 1,5 или 3 кВ и переменный ток напряжением

При разработке схемы питания и секционирования контактной сети переменного тока необходимо стремиться к более равномерной загрузке фаз тягового трансформатора. В местах раздела зон питания от различных фаз трансформатора устанавливают нейтральные вставки без разъединителей. Схему питания и секционирования выполняют на плане железнодорожных путей предприятия в масштабах 1:2000, 1:5000, при этом допускается некоторое искажение масштаба.

5.7. ВЫБОР СИСТЕМЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Система тока и напряжения на железнодорожном транспорте промышленных предприятий выбирается при сравнении различных вариантов электрификации.

При разработке вариантов электрификации транспорта на постоянном токе напряжением 3 кВ для рудных карьеров следует применять тяговые агрегаты с контактным питанием и только в отдельных технически обоснованных случаях агрегаты с двойным питанием. При реконструкции действующих карьеров, транспорт которых работает на постоянном токе напряжением 1,5 кВ (при наличии резервных электровозов), рекомендуется рассматривать вариант постоянного тока 1,5 кВ с изменением схемы тягового электроснабжения в части использования децентрализованного питания. При отрицательных технико-экономических показателях этого варианта следует использовать тяговые агрегаты на двойное напряжение постоянного тока 1,5/3,0 кВ и выполнять проект перевода тяговой сети на 3 кВ. Для вариантов переменного тока 10 кВ следует применять контактно-дизельные тяговые агрегаты с отказом от электрификации карьерных передвижных путей.

Для транспорта крупных металлургических заводов разрабатывают варианты с применением новых серий промышленных электровозов постоянного тока 3,0 кВ, оборудованных автономным источником питания и с использованием имеющихся в резерве у министерства электровозов постоянного тока напряжением 1,5 кВ. Для подъездных путей предприятий целесообразно применять магистральные электровозы и систему тока, принятую на дороге, к которой примыкает этот участок.

Для оценки экономической эффективности сравниваемых вариантов по каждому из них определяют приведенные затраты по формуле, тыс. руб.,

$$Z = \Э + K_{эф} C, \qquad (5.53)$$

где $K_{эф}$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый для промышленного транспорта 0,12; $\Э$ — годовые эксплуатационные расходы; C — капитальные вложения.

Приведенные затраты на тяговые средства и устройства электроснабжения карьерного транспорта на стадии технико-экономических обоснований (ТЭО) определяют по формуле, тыс. руб.,

$$Z = n_л \left[(\Э_л + \Э_т) + 0{,}12 \left(\frac{1}{K_и} C_л + C_д \right) + \right.$$

$$\left. + K'_м (\Э'_к + 0{,}12 C'_к) + K''_м (\Э''_к + 0{,}12 C''_к) \right] +$$

$$+ n_в \left(\Э_в + \frac{0{,}12}{K_и} C_в \right) + N_п (\Э_п + 0{,}12 C_п), \qquad (5.54)$$

где $n_л$ — количество локомотивов рабочего парка одной и той же серии; $\Э_л$ — годовые эксплуатационные расходы на содержание одного локомотива; $\Э_т$ — годовые затраты на электроэнергию и дизельное топливо (только для контактно-дизельных локомотивов) на один локомотив; $K_и$ — коэффициент использования инвентарного парка, принимаемый для электровозов с контактным питанием 0,87, для контактно-дизельных электровозов 0,8 и для вагонов 0,85; $C_л$ — цена локомотива; $C_д$ — капитальные затраты на сооружение депо, отнесенные к одному локомотиву рабочего парка; $K'_м$, $K''_м$ — развернутая протяженность постоянной и передвижной контактной сети, отнесенная к одному локомотиву рабочего парка; $\Э'_к$, $\Э''_к$ — годовые эксплуатационные расходы на содержание 1 км развернутой длины постоянной и передвижной контактной сети; $C'_к$, $C''_к$ — капитальные затраты на 1 км развернутой длины постоянной и передвижной контактной сети; $n_в$ — количество вагонов рабочего парка; $\Э_в$ — годовые эксплуатационные расходы на содержание одного вагона; $C_в$ — цена одного вагона; $N_п$ — суммарная рабочая мощность всех тяговых подстанций при постоянном, кВт, и при переменном, кВ·А, токе; $\Э_п$ — годовые эксплуатационные расходы на содержание тяговой подстанции на 1 кВт ее рабочей мощности при постоянном токе и 1 кВ·А мощности трехфазных трансформаторов при переменном токе; $C_п$ — капитальные затраты на 1 кВт (кВ·А) мощности тяговых подстанций.

Входящие в формулу затраты и коэффициенты принимаются по данным технического задания и на основании расчетов.

Технико-экономические расчеты на стадии проекта. Для выбора системы тока и напряжения на стадии проекта (Рабочий проект) подсчитывают по каждому варианту капитальные вложения и эксплуатационные расходы на локомотивы и вагоны, локомотивные депо, тяговые сети и подстанции системы электроснабжения, энергетические затраты, защитные мероприятия от разных видов коррозии подземных сооружений и вредных влияний однофазного переменного тока, а также на прочие устройства и сооружения.

В отличие от расчетов на стадии ТЭО все указанные подсчеты должны производиться на основании уточненных данных общетранспортной и электротехнической частей технорабочего проекта нового или реконструируемого предприятия.

Расчеты по выбору системы тока на стадии проекта могут выполняться на расчетный срок, а при наличии исходных данных за ряд лет такие расчеты рекомендуется выполнять по годам за 8—10 лет (период оптимизации) эксплуатации карьера. Сопоставление годовых и суммарных затрат за этот период по всем сравниваемым вариантам, а также характер изменения затрат по годам позволят выявить наиболее экономичный вариант системы тока и напряжения с наибольшей точностью.

Результаты технико-экономических расчетов по каждому варианту заносят в сводную таблицу и на основании их определяют приведенные затраты по формуле (5.54), по которым выбирают оптимальный варнант.

5.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И МОЩНОСТИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Железнодорожный транспорт. Число и расположение тяговых подстанций определяют конфигурацией железнодорожных путей и протяженностью плеч питания участков тяговой сети.

Ориентировочный максимальный радиус питания для постоянного тока напряжением 1,5 и 3 кВ составляет 5 и 10 км соответственно; для переменного тока напряжением 10 кВ—15 км. Электрическими расчетами проверяется правильность размещения тяговых подстанций. Специфичность работы промышленного транспорта определяет применение специальных методов расчета мощности тяговых подстанций.

Расчет мощности тяговых подстанций. Наиболее простым методом, применяемым при ориентировочных расчетах, является метод с применением коэффициента спроса:

$$K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{пст}}}{\Sigma P_{\text{ч.эл}}},$$

где $P_{\text{пст}}$ — номинальная мощность подстанций постоянного тока, кВт; $\Sigma P_{\text{ч.эл}}$ — суммарная часовая мощность работающих в зоне питания электровозов, кВт.

Коэффициент спроса зависит от числа работающих электровозов и глубины карьера (табл. 5.7).

Мощность тяговой подстанции постоянного тока определяется по формуле, кВт,

$$P_{\text{п.пст}} = K_{\text{м}} K_{\text{с}} \Sigma P_{\text{ч.эл}}, \qquad (5.55)$$

где $K_{\text{м}}$ — коэффициент максимума нагрузки 1,3—1,4; $\Sigma P_{\text{ч.эл}}$ — суммарная часовая мощность всех электровозов (тяговых агрегатов), работающих в зоне питания тяговой подстанции, кВт.

При небольшом числе работающих электровозов полученная расчетная мощность проверяется по пусковым токам и токам нагрузки на наиболее тяжелых участках с учетом перегрузочной способности выпрямительных агрегатов. При наличии нескольких тяговых подстанций расчетное число электровозов по каждой тяговой подстанции принимают для наиболее тяжелого эксплуатационного режима работы транспорта в зоне каждой подстанции. При этом, как правило, расчетное число электровозов по всем подстанциям оказывается больше фактического числа работающих электровозов.

По другому, более точному методу мощность подстанции

$$P_{\text{п.пст}} = \left(P_{\text{ч.эл}} \frac{n_{\text{эл}}}{K_{\text{п}}} + P_{\text{эл.ср}} n_{\text{эл}} \right) K_{\text{в}}, \qquad (5.56)$$

где $P_{\text{эл.ср}} = \dfrac{W_{\text{год}}}{n_{\text{эл}} T_{\text{год}}}$ — среднесуточное потребление мощности одним работающим электровозом, кВт; $W_{\text{год}}$ — годовой расход электроэнергии на шинах постоянного тока тяговой

Таблица 5.7. **Значения коэффициента спроса**

Глубина карьера, м	Число работающих электровозов					
	3	6	10	15	20	25 и более
До 100	0,44	0,31	0,25	0,22	0,21	0,2
100—200	0,47	0,33	0,28	0,25	0,24	0,23
200—300	0,5	0,37	0,32	0,29	0,28	0,27

подстанции, кВт·ч; $T_{год}$ — годовое число работы транспорта; $K_п$ — коэффициент, определяющий количество электровозов, находящихся в тяжелом режиме работы, при средней глубине вывозки горной массы 50, 100, 150, 200 и 300 м равен 10, 8, 7, 6 и 5 соответственно; $K_в$ — для ртутных выпрямителей 0,67, для кремниевых 1,0; $n_{эл}$ — число работающих электровозов.

Формула (5.56) действительна при $n_{эл}/K_п \geqslant 1$, при $n_{эл} < K_п$ принимается $n_{эл}/K_п = 1$.

Мощность тяговой подстанции при электрификации транспорта при переменном токе для ориентировочных расчетов определяется по формуле, кВ·А,

$$S_{п.пер} = \frac{P_{п.пст} K_н K_ф}{\cos \varphi}, \qquad (5.57)$$

где $P_{п.пст}$ — мощность тяговой подстанции, определяемая по формулам (5.55) и (5.56), кВт; $K_н$ — коэффициент неравномерности распределения нагрузки между тяговыми подстанциями (при одной подстанции на предприятии $K_н = 1$, при двух и более $K_н = 1{,}25$); $\cos \varphi$ — коэффициент мощности, $\cos \varphi = 0{,}8 \div 0{,}85$; $K_ф$ — коэффициент неравномерности нагрузки фаз тяговых трансформаторов, $K_ф = 1{,}25$.

Метод расчета нагрузок карьерных тяговых подстанций, позволяющий использовать ЭВМ при расчетах, основывается на определении ожидаемого расхода электроэнергии на электровозную тягу.

Полный расход электроэнергии по этой методике для приведенного среднего рейса со средневзвешенными параметрами доставки, кВт·ч,

$$W_р = \frac{10^{-3}}{\eta_{т.с.п}} [L_{д.вз} (b_1 + b_2 \lambda_п) -$$

$$- \frac{1}{i_р} (b_1 \Delta h_{ср.вз.п} + b_2 \Delta h_{ср.вз.гр} \lambda_п) +$$

$$+ 3{,}13 (\Delta h_{ср.вз.гр} + \Delta h_{ср.вз.п} \lambda_п) +$$

$$+ (d_1 + d_2)] (P_{сц} + Q_{бр}) \Delta W_{эл} \cdot t_{рейс}, \qquad (5.58)$$

где $\Delta h_{ср.вз.п}$ — средневзвешенная высота доставки груза в порожнем направлении, м; $\Delta h_{ср.вз.гр}$ — средневзвешенная высота доставки груза в груженом направлении, м,

$$\Delta h_{ср.вз.п} = \frac{Q_1 h_1 + Q_2 h_2 + \ldots + Q_n h_n + Q'_1 h'_1 + \ldots + Q'_n h'_n}{Q_{тр}};$$

$L_{д.вз}$ — средневзвешенная длина доставки груза, км;

$$L_{д.вз} = \frac{Q_1 l_1 + Q_2 l_2 + \ldots + Q_n l_n}{Q_{тр}},$$

здесь $Q_{тр}$ — производительность железнодорожного транспорта (общее количество перевозимого груза, м³ или т/год); h_1, h_2, h_n — разность отметок между начальными пунктами доставки и станцией, м; h'_1, h'_2, ..., h'_n — разность отметок конечных пунктов доставки и станции, м; Q_1, Q_2, ..., Q_n — производительность забойных экскаваторов, м³ или т/год; Q'_1, Q'_2, ..., Q'_n — количество груза, перевозимого на конечные пункты доставки, м³ или т/год; l_1, l_2, ..., l_n — длина каждого маршрута, перевозящего груз; b_1 — коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на токоприемнике электровоза при движении его от забоя до конечного пункта доставки без учета расхода энергии на подъем груза на высоту Δh, Вт·ч/(т·км); b_2 — коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на токоприемнике электровоза при движении его с порожним составом по горизонтальным путям, Вт·ч/(т·км),

$$b_1 = \frac{W_{L тр} 10^3}{(P_{сц} + Q_{бр}) L_р},$$

где $L_р$ — длина доставки груза, км;

$$b_2 = \frac{W_{L пор} 10^3}{(P_{сц} + Q_{бр} - Q_н)(L_р - L_{тр})},$$

где $Q_н$ — масса состава (нетто); $L_{тр}$ — длина траншеи, км; d_1 — коэффициент, учитывающий расход электроэнергии во время подачи состава при погрузке, Вт·ч/т,

$$d_1 = \frac{W_{пог} \cdot 10^3}{P_{сц} + Q_{бр}};$$

d_2 — коэффициент, учитывающий расход электроэнергии во время подачи состава при погрузке, Вт·ч/т,

$$d_2 = \frac{W_{разг} \cdot 10^3}{P_{сц} + Q_{бр}};$$

$\lambda_п$ — коэффициент тары с учетом массы электровоза,

$$\lambda_п = \frac{P_{сц} + Q_{бр} - Q_н}{P_{сц} + Q_{бр}};$$

$\Delta W_{эл}$ — средняя мощность, потребляемая агрегатами собственных нужд электровоза, кВт; $t_{рейс}$ — длительность рейса, ч.

Удельный расход электроэнергии за рейс,

кВт·ч/т,

$$\Delta W_{уд}=\frac{W_р}{Q_{пол}}, \qquad (5.59)$$

где $Q_{пол}$ — масса полезного груза в составе (вес нетто), т.

Увеличение удельного расхода электроэнергии, кВт·ч, в зимнее время учитывается коэффициентом сезонности $K_{эн.с}=1,25$

$$\Delta W'_{уд}=K_{эн.с}\Delta W_{уд}. \qquad (5.60)$$

Полный годовой расход электроэнергии по карьеру, кВт·н,

$$W_{год}=\frac{W_р Q_{тр} K_{эн.с}}{Q_н}, \qquad (5.61)$$

где $Q_{тр}$ — общее количество перевозимого груза (или производительность транспорта) в течение года, т.

Средний ток, А, тяговой подстанции в наиболее интенсивный период работы транспорта определяется по расходу электроэнергии за рейс (5.58) и длительности приведенного среднего рейса

$$I_{ср.пст}=\frac{W_р N_л}{1,1 U_с t_{ср.р}}, \qquad (5.62)$$

где $N_л$ — максимальное колнчество электровозов, одновременно находящихся в зоне питания; $U_с$ — напряженне тяговой сети, кВ; $t_{ср.р}$ — средиее время рейса, ч.

Коэффициент эффективного тока тяговой подстанции за продолжительность приведенного среднего рейса

$$K_{эф}=\sqrt{1+\left(\frac{K_{fp}^2}{K_в}-1\right)\frac{1}{N_л}}, \qquad (5.63)$$

где $K_{fp}=1,12$ — коэффициент формы тока электровоза за время потребления им электрической энергии; $K_в$ — коэффициент включения тяговых двигателей за продолжительиость среднего рейса,

$$K_в=\frac{t_{ср.р.к}}{t_{ср.р}},$$

$t_{ср.р.к}$ — время потребления электроэнергии тяговыми двигателями электровоза за среднее время рейса, ч.

Среднеквадратичный (эффективный) ток тяговой подстанции, А,

$$I_{эф.пст}=K_{эф}I_{ср.пст}. \qquad (5.64)$$

Количество кремниевых выпрямительных агрегатов на подстанции, шт.,

$$N_{агр}=\frac{I_{эф.пст}}{I_{ном.агр}}, \qquad (5.65)$$

где $I_{ном.агр}$ — номинальный ток выпрямительного агрегата, А, определяется по данным каталогов заводов-изготовителей.

Колнчество тяговых подстанций m по этому методу расчета определяется заданным условием, что по соображениям, связанным с преимуществом децентрализованиой системы питания, для карьерного транспорта максимальное число выпрямительных агрегатов, устанавливаемых на одной подстаиции, целесообразно принимать не более трех для тягового напряжения 1,5 кВ; не более двух — для напряжения 3 кВ:

$$m_{1,5}=\frac{N_{агр}}{N_{1,5}}; \qquad (5.66)$$

$$m_3=\frac{N_{агр}}{N_3}, \qquad (5.67)$$

где $N_{1,5}$ и N_3 — количество преобразовательных агрегатов на подстанции соответственно при 1,5 и 3 кВ.

Помнмо рабочих кремниево-выпрямительных агрегатов иа каждой подстанции устанавливается по одному резервному агрегату.

Рабочая мощность тяговых подстанций постоянного тока, кВт,

$$P_{п.пст}=N_{агр}I_{н.агр}1,1U_с. \qquad (5.68)$$

Методика расчета системы тягового электроснабжения на переменном токе, как и методика расчета тягового электроснабжения постоянного тока, основывается на определении ожидаемого расхода электроэнергии на электровозную тягу с учетом особенностей, свойственных переменному току, кВт·ч,

$$W_р=\frac{10^{-3}(P_{сц}+Q_{бр}K_{с.н})}{\eta_{эл}\eta_{т.с}}\Big[L_{д.вз}\times$$

$$\times(b_1+b_2\lambda_п)-\frac{1}{i_р}(b_1\Delta h_{ср.вз.п}+b_2\times$$

$$\times\Delta h_{ср.вз.гр}\lambda_п)+3,13(\Delta h_{ср.вз.гр}+$$

$$+\Delta h_{ср.вз.п}\lambda_п)(d_1+d_2)\Big]; \qquad (5.69)$$

где $k_{с.н}$ — коэффициент собственных нужд, $k_{с.н}=1,1$; $\eta_{эл}$ — коэффициент полезного действия электровоза переменного тока, $\eta_{эл}=0,9$; $\eta_{т.с}$ — коэффициент полезного действия тяговой сети, $\eta_{т.с}=0,9$.

Все остальные параметры, входящне в

(5.69), соответствуют параметрам в (5.58).

Мощность трехфазных тяговых трансформаторов зависит от соотношения токов фаз, питающих тяговую нагрузку.

На основании многолетнего опыта и анализа выпущенных Тяжпромэлектропроектом работ можно принять, что в зоне питания наименее загруженного плеча находится в среднем около 0,4 общего количества работающих электровозов. Тогда количество электровозов, питающихся от фазы A, определится по формуле, шт.,

$$N_{лA}=K_A N_л, \tag{5.70}$$

где K_A — относительное число электровозов, питающихся от фазы A, $K_A=0{,}4$; $N_л$ — рабочий парк электровозов (тяговых агрегатов), шт.

Полученное число электровозов $N_{лA}$ округляется до ближайшего меньшего целого значения.

Количество электровозов, питающихся от фазы B, шт.,

$$N_{лB}=N_л-N_{лA}. \tag{5.71}$$

Коэффициенты эффективности тока фазы A и B

$$K_{эфA}=\sqrt{1+\left(\frac{K_{fp}^2}{K_B}-1\right)\frac{1}{N_{лA}}}; \tag{5.72}$$

$$K_{эфB}=\sqrt{1+\left(\frac{K_{fp}^2}{K_B}-1\right)\frac{1}{N_{лB}}}, \tag{5.73}$$

где K_{fp} — коэффициент формы тока за рейс, $K_{fp}=1{,}12$; K_B — коэффициент включения тяговых двигателей; $N_{лA}$, $N_{лB}$ — количество электровозов, питающихся соответственно от фаз A и B.

Активные составляющие средних токов, А,

$$I^a_{срA}=\frac{W_p N_{лA} K_{fп}}{1{,}1 U_c t_{ср.р}}; \tag{5.74}$$

$$I^a_{срB}=\frac{W_p N_{лB} K_{fп}}{1{,}1 U_c t_{ср.р}}, \tag{5.75}$$

где W_p — расход электроэнергии за рейс, кВт·ч; U_c — напряжение тяговой сети, кВ; $t_{ср.р}$ — время рейса, ч; $K_{fп}$ — коэффициент формы для синусоидального напряжения, $K_{fп}=1{,}12$.

Активные составляющие эффективных токов фаз A и B, А,

$$I^a_A=I^a_{срA}K_{эфA}; \tag{5.76}$$

$$I^a_B=I^a_{срB}K_{эфB}. \tag{5.77}$$

Реактивные составляющие, А,

$$I^r_A=K_1 I^a_A-K_2; \tag{5.78}$$

$$I^r_B=K_1 I^a_B-K_2, \tag{5.79}$$

где K_1, K_2 — коэффициенты перевода активной составляющей тока в реактивную, $K_1\approx 0{,}8$ и $K_2\approx 30$.

Полные токи фаз A и B определяют по формулам, А,

$$I_A=\sqrt{\left(I^a_A\right)^2+\left(I^r_A\right)^2}; \tag{5.80}$$

$$I_B=\sqrt{\left(I^a_B\right)^2+\left(I^r_B\right)^2}. \tag{5.81}$$

При известных эффективных токах фаз A и B номинальная мощность тяговых трехфазных трансформаторов рассчитывается по формуле, кВ·А,

$$S_{расч}=(2I'+0{,}65I'')\,1{,}1U_c\times$$

$$\times\frac{\cos\varphi_c}{\cos\varphi_{эл}}k_{сн.пст}, \tag{5.82}$$

где I' — ток наиболее загруженной фазы, А; I'' — ток наименее загруженной фазы, А; U_c — напряжение питающей сети, кВ; $\cos\varphi_c$ — косинус угла φ системы, $\cos\varphi_c=0{,}92$; $\cos\varphi_{эл}$ — косинус угла φ электровоза, $\cos\varphi_{эл}=0{,}8$; $k_{сн.пст}$ — коэффициент собственных нужд подстанции, $k_{сн.пст}=1{,}02$.

По условиям обеспечения бесперебойности электроснабжения тяговые нагрузки электрифицированного железнодорожного транспорта относятся к нагрузкам II категории. Для питания нагрузок II категории принимаются к установке на подстанции не менее двух тяговых трансформаторов с загрузкой каждого трансформатора в нормальном режиме около 70 % его номинальной мощности и в аварийном режиме, в случае выхода из строя одного из трансформаторов, с перегрузкой около 40 % номинальной мощности оставшегося в работе трансформатора.

Исходя из этих условий, необходимая мощность трансформатора определяется, кВ·А,

$$S_{тр}=\frac{S_{расч}}{БK_з}, \tag{5.83}$$

где $Б$ — общее число трансформаторов на тяговых подстанциях ($Б=2, 4, 8\ldots$ номиналь-

ный ряд чисел, начиная с 2); $K_з$ — коэффициент, учитывающий загрузку трансформатора в нормальном режиме.

Полученное значение потребной мощности одного трансформатора сравнивают с рядом номинальных мощностей силовых трансформаторов и выбирают трансформаторы с ближайшей номинальной мощностью.

Количество подстанций определяется из условия децентрализованного питания, максимальная мощность одного тягового трансформатора не должна превышать 25 000 кВ·А. Если полученная мощность одного трансформатора окажется больше 25 000 кВ·А, то вместо наименьшего значения показателя $Б$ подставляют его следующее значение и расчет повторяют до тех пор, пока мощность одного трансформатора не окажется меньше 25 000 кВ·А. После окончательного определения мощности одного трансформатора количество тяговых подстанций подсчитывается, шт.,

$$m = \frac{S_{расч}}{БK_з S_{тр}}, \qquad (5.84)$$

где $Б$ — количество тяговых трансформаторов, устанавливаемых на одной подстанции; $S_{тр}$ — номинальная мощность выбранного стандартного трансформатора.

Применение ЭВМ дает возможность выполнить ряд трудоемких разделов проекта, однако в целом проект с помощью ЭВМ можно выполнить только на стадии технико-экономических обоснований (ТЭО). На стадиях проект (П) и рабочий проект (РП) разработанные в настоящее время программы позволяют решить разделы проекта, связанные с выбором оптимального варианта питания контактной сети, количества, местоположения и мощности тяговых подстанций. Некоторые разделы проектов, выполняемых на стадиях П и РП, не могут быть формализованы и переведены на язык машины.

Дизель-троллейвозный транспорт. Выбор методики расчета зависит от потребляемой электрической мощности отдельной машиной и принятой схемы питания контактной сети. При централизованной системе тягового электроснабжения, рекомендуемой для питания дизель-троллейвозов грузоподъемностью не выше 65 т, расчет производится с использованием коэффициента эффективности $K_{эф}$.

Действующее значение расчетного тока тяговой подстанции, А,

$$I_{действ} = K_{эф} I_{ср}, \qquad (5.85)$$

где $I_{ср}$ — средний ток за расчетное время, потребляемый дизель-троллейвозами, находящимися в зоне питания тяговой подстанции, А; K — коэффициент эффективности, определяемый по кривой зависимости от частоты движения (рис. 5.9).

Расчетный средний ток подстанции, А,

$$I_{ср} = \frac{W_{сут} 10^{-3}}{T_{сут} U_{ном}}, \qquad (5.86)$$

где $W_{сут}$ — общий суточный расход электроэнергии на тягу в зоне питания тяговой подстанции, кВт·ч; $T_{сут}$ — суточная продолжительность работы транспорта, ч; $U_{ном}$ — номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции, кВ.

Возможный максимальный расчетный ток тяговой подстанции, А,

$$I_{max\,пст} = 1{,}5 K_{эф}^2 I_{ср}. \qquad (5.87)$$

Коэффициент эффективности зависит от частоты движения дизель-троллейвозов (N_r) и при большой частоте близок к единице

$$N_r = \frac{N_{см}}{T_{см}},$$

где $N_{см}$ — число рейсов дизель-троллейвозов в смену; $T_{см}$ — длительность работы дизель-троллейвозов за смену, $T_{см} = 7{,}5$ ч.

Суточный расход электроэнергии по этому методу рассчитывают по среднim удельным расходам электроэнергии на основных маршрутах движения дизель-троллейвозов.

Децентрализованную схему питания рекомендуется применять при работе дизель-троллейвозов большой грузоподъемности (110 т и более). При децентрализованной системе электроснабжения одно- и двухагрегатные передвижные тяговые подстанции располагаются вблизи секционных изоляторов, разделяющих участки контактной сети, и в нормальном режиме питают только примыкающие к под-

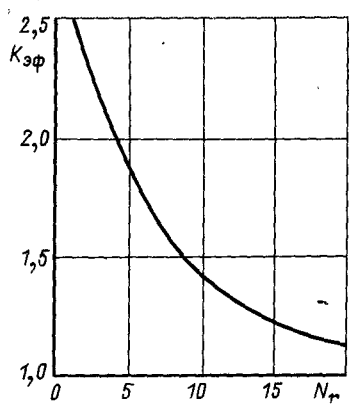


Рис. 5.9. Зависимость коэффициента эффективности $K_{эф}$ от частоты движения дизель-троллейвозов

станциям участки контактной сети. В аварийном режиме возможно взаимное резервирование тяговых подстанций. При такой схеме питания тяговые нагрузки носят, как правило, пиковый резко изменяющийся характер. Поэтому для выбора и проверки выпрямительных агрегатов, имеющих жесткие паспортные ограничения по допустимым перегрузкам, необходим более точный метод расчета потребляемых токов и мощности из тяговой сети. Наиболее полно этим требованиям отвечает графический метод расчета мощности тяговой подстанции. По этому методу для определения расчетных нагрузок строится график изменения потребляемого тока дизель-троллейвозами при движении их по профилю дороги рассчитываемого участка контактной сети. На этом же графике наносится время, в течение которого потребляется расчетный ток. На основании первого графика строится второй — график длительности тяговой нагрузки на шинах подстанции, на основании которой выбираются выпрямительные агрегаты.

5.9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЯГОВОЙ СЕТИ

Исходные предпосылки для электрических расчетов тяговой сети. Выбранное местоположение и число тяговых подстанций, сечения проводов контактной, питающей и отсасывающей сетей и конструктивное выполнение этих сетей проверяются электрическими расчетами.

Выбранные устройства электроснабжения должны обеспечить защиту тяговой сети от токов КЗ при использовании имеющихся схемных средств и защитных аппаратов.

При выборе сечений элементов тяговой сети рекомендуется принимать следующие плотности тока при продолжительности 20 мин и более и температуре окружающего воздуха 40 °С; для медных контактных и неизолированных многопроволочных проводов 6—6,5 А/мм^2; для неизолированных алюминиевых проводов 3—3,5 А/мм^2.

Нагрузочные токи электровозов определяют тяговым усилием, необходимым для обеспечения заданного характера движения состава и характеристиками тяговых двигателей.

Тяговые усилия электровоза, Н:
при пуске

$$F=(P+Q)(\Sigma\omega\pm ig+102a\cdot 10^{-3}); \quad (5.88)$$

при движении с установившейся скоростью

$$F=(P+Q)(\Sigma\omega\pm ig), \quad (5.89)$$

где P — сцепная масса электровоза, т; Q — масса прицепной части поезда, т; $\Sigma\omega$ — сумма удельных сопротивлений движению поезда, Н/т; i — уклон или подъем пути, ‰; a — ускорение при пуске поезда, м/с^2; $g=9{,}8$ м/с^2 — ускорение свободного падения.

По графику зависимости тока от силы тяги и скорости $I=f(E, V)$ на расчетном участке пути при заданной скорости и характере движения определяется ток, потребляемый электровозом.

Устойчивая работа электрифицированного промышленного транспорта определяется правильным выбором устройств тяговой сети на основе расчетов потери напряжения и токов короткого замыкания. Согласно техническим условиям на промышленные электровозы максимальные потери напряжения в период наиболее тяжелых условий работы допускаются (от номинального напряжения на тяговых шинах подстанции) для постоянного тока 35 %, в исключительных случаях 45 %; для переменного тока 25 %, в исключительных случаях 30 %.

Тяговая сеть промышленного транспорта обладает специфическими особенностями, определяющими методику и условия расчета потерь напряжения и токов короткого замыкания.

К основным особенностям относятся короткие (преимущественно до 5 км) участки секционирования контактной сети и одностороннее (консольное) питание контактной сети.

Исходя из этих особенностей при электрических расчетах принимается допущение, что весь обратный ток от электровозов до отсасывающих пунктов возвращается по тяговым рельсам. Кроме того, при использовании рельсовых отсасывающих линий, проложенных непосредственно в земле (при переменном токе), не учитывается стекание тока с рельсов в землю.

Расчеты потери напряжения и токов короткого замыкания тяговой сети постоянного и переменного токов имеют некоторые отличия.

Электрические расчеты тяговой сети производят на основании анализа работы электровозов на рассматриваемом секционированном участке контактной сети при наиболее тяжелых условиях совпадения нагрузочных токов электровозов как по значению, так и по месту их приложения. На секционированном участке контактной сети, как правило, находится ограниченное число электровозов. Электрический расчет тяговой сети начинают с нанесения на рассматриваемый участок схемы питания и секционирования контактной сети потребляемых электровозами токов.

В табл. 5.8 приведены расчетные формулы, с помощью которых с допустимой для проектной практики точностью можно опреде-

Таблица 5.8. **Электрический расчет тяговой сети**

Расчетный параметр	Расчетные формулы * или значения параметров	
	при постоянном токе	при однофазном переменном токе
Суммариая потеря напряжения в тяговой сетн, В	$\Delta U=\Delta U_к+\Delta U_р+\Delta U_п+\Delta U_о$	$\Delta U=\Delta U_п+\Delta U_{к.р}+\Delta U_р+\Delta U_о$
Потеря напряжения в контактной сетн, В	$\Delta U_к=r_к\sum Il_к$	$\Delta U_{кр}\sum Il_{кр}Z'_{кр}$
Потеря напряжения в рельсовой сети, В	$\Delta U_р=r_р\sum Il_р$	
Потеря напряжения в питающей лнии, В	$\Delta U_п=r_п\ln\sum I$	$\Delta U=\sum Il_пZ'_п$
Потеря напряжения в отсасывающей линии, В	$\Delta U_о=r_оl_о\Sigma I$	$\Delta U=\Sigma I_оl_оZ'_о$
Полное активное сопротивление питающей н отсасывающей линнй при постоянном токе ($r_п$, $r_о$), Ом/км	$r_п=\frac{1}{0{,}9\gamma q_п}$, $r_о=\frac{1}{\gamma q_о}$	—
Полное сопротивленне питающей и отсасывающей линий на 1 км длнны при перемеином токе ($Z_п$, $Z_о$), Ом/км	—	$Z_п=r_п+j(0{,}145\lg\frac{2h}{R_п}+0{,}157)$, $Z_о=r_о+j(0{,}145\lg\frac{2h}{R_о}+0{,}157)$

* $\sum Il$ — сумма моментов токов работающих электровозов на длину расчетного участка; $r_к$ — активное сопротивление 1 км контактного провода, Ом; 0,9 — коэффициент, учитывающий средний износ провода; γ — удельная проводимость провода, см/м; $q_п$, $q_о$ — сечение провода, мм^2; h — высота лиинн над землей, м; $R_п$ и $R_о$ — раднусы проводов, см; $Z'_{кр}$, $Z''_п$ и $Z'_о$ — эквивалентные кажущиеся сопротивления контактно-рельсовой сети, питающей и отсасывающей линий, Ом/км.

Таблица 5.9. **Расчет токов короткого замыкания**

Расчетный параметр	Расчетные формулы * нли значения параметра	
	при постоянном токе	прн однофазном переменном токе
Ток короткого замыкания, А	$I_к=\frac{1{,}15U_{пст}-(r_к+r_п)l_к+\ldots-U_д}{\ldots+r_оl_о+r_пl_п}$	$I_к^{(2)}=\frac{U_{пст}}{Z^{(2)}}=\frac{U_{пст}}{\sqrt{r_{т.с}^2+(2x'_с+\ldots+2x'_т+x_{т.с})^2}}$
Внутреннее сопротивленне элементов подстанции при постоянном токе и индуктивное сопротивление тяговой обмотки трансформатора прн переменном токе, Ом	$r_{пст}=\frac{1{,}07U_{пст}^{(2)}}{10^5P_{пст}}$	$X_т=\frac{u_к\%U_л^{(2)}}{100S_н}$
Индуктнвное сопротивленне первичной сети, Ом	—	$X_с=\frac{U_{пст}^{(2)}}{S_к}$

Продолжение табл. 5.9

Расчетный параметр	Расчетные формулы * или значения параметра	
	при постоянном токе	при однофазном переменном токе
Ток уставки максимальной защиты на питающих линиях, А	$I_{pmax}+200 \leqslant I_{уст} \leqslant I_{kmin}-300$	$K_н I_{pmax} < I_{уст} < \frac{I_{kmin}}{K_ч}$

* $r_к$, $r_р$, $r_п$, $r_о$ — удельные сопротивления 1 км соответственно контактной и рельсовой сети проводов, питающей и отсасывающей линий (принимаются согласно табл. 5.10, 5.11 и 5.12); $U_{пст}$ — номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции, В; $U_д$ — падение напряжения в электрической дуге (принимается равным 100 В при $U_{пст}=1{,}5$ кВ и 200 В при $U_{пст}=3$ кВ); $P_{пст}$ — номинальная рабочая мощность тяговой подстанции, кВт; $u_{к\%}$ — напряжение короткого замыкания, % (принимается для трансформаторов по каталогу); $r_{т.с}$, $x_{т.с}$ — соответственно активное и индуктивное сопротивления рассматриваемого участка тяговой сети, Ом; $l_к$ — расстояние от начала расчетного участка до места короткого замыкания, км; $l_п$ и $l_о$ — расчетные длины питающей и отсасывающей линий; $S_н$ — мощность трансформатора, МВ·А; $U_л$ — линейное напряжение, кВ; $S_к$ — мощность короткого замыкания на шинах тяговой подстанции со стороны питающей ЛЭП, МВт; I_{kmin} — минимальный ток КЗ на расчетном участке, А; I_{pmax} — максимальный ток питающей линии, А; $I_{уст}$ — ток уставки выключателя питающей линии, А; (2) — двухфазное КЗ; $K_н$ — коэффициент надежности, равный 1,15—1,25; $K_ч$ — коэффициент чувствительности, равный 1,5.

Таблица 5.10. **Сопротивление медных контактных проводов**

Число параллельно включенных проводов	Сопротивление, Ом/км, для проводов		
	МФ-65	МФ-85	МФ-100
1	0,323	0,234	0,198
2	0,162	0,117	0,099
3	0,108	0,078	0,067

Таблица 5.11. **Сопротивления неизолированных проводов**

Сечение провода, мм^2	Сопротивление проводов при $t=20$ °С, Ом/км	
	медных	алюминиевых
95	0,20	0,33
120	0,16	0,27
150	0,12	0,21
185	—	0,17

ить потери напряжения участка тяговой сети остоянного и переменного тока.

В табл. 5.9 приведены формулы для рас-етов токов короткого замыкания в тяговых ети карьеров.

Потери напряжения в тяговой сети посто-ного тока определяются сопротивлениями ементов тяговой сети. Данные об электриче-их сопротивлениях проводов и рельсов при стоянном токе приведены в табл. 5.10—5.12.

Таблица 5.12. **Сопротивление рельсов и рельсовых путей**

Тип рельсов	Масса, кг/м	Площадь поперечного сечения, мм^2		Сопротивление, Ом/км	
		фактическая	в медном эквиваленте	одиночного рельса	одноколейного пути
Р75	75	9700	810	0,024	0,012
Р65	65	8290	690	0,028	0,014
Р50	50	6450	540	0,036	0,018
Р43	43	5570	470	0,040	0,020
Р38	38	4310	410	0,048	0,024
Р33	33	4250	355	0,054	0,027

Расчет потери напряжения в тяговой сети переменного тока существенно отличается от аналогичных расчетов постоянного тока благодаря наличию взаимного магнитного влияния всех токоведущих элементов тяговой сети (контактная сеть, тяговые рельсы, питающие и отсасывающие линии). Для электрического расчета тяговой сети переменного тока требуется вычислить эквивалентное кажущееся и полное сопротивления. Эквивалентное кажущееся сопротивление используют при расчетах тяговой сети для определения максимального падения напряжения, а полное — при расчете тяговой сети по токам короткого замыкания. Эквивалентное кажущееся сопротивление тяговой сети (Ом/км) при работе электровозов, оборудованных выпрямительны-

Таблица 5.13. **Характеристики проводов, применяемых в контактной сети, при сопротивлении земли $\rho = 100$ Ом·м**

Марка провода	q, мм^2	$2R$, см	$r_к$, Ом/км	$x_к$, Ом/км	$\lvert z_к \rvert$, Ом/км	$\varphi_к^0$
МФ100	100	1,23	0,229	0,762	0,795	73°15′
МФ85	85	1,13	0,260	0,767	0,810	71°15′
БрФ85	72	1,13	0,297	0,767	0,823	68°50′
А185	105	1,75	0,220	0,746	0,772	73°25′
А150	85	1,58	0,260	0,753	0,790	70°45′
А120	65	1,40	0,320	0,769	0,817	66°55′

Примечание. q — сечение провода в медном эквивалеите; R — геометрический радиус провода.

ми устаиовками,

$$z' = 0{,}47r + 0{,}72x. \qquad (5.90)$$

Полиое сопротивление тяговой сети, Ом/км,

$$z = r + jx, \qquad (5.91)$$

где r — активное сопротивление; x — индуктивное сопротивление.

В расчет потери напряжеиия участка тяговой сети вводятся собственные и взаимные сопротивления элементов этого участка. Влияние токов соседних элемеитов тяговой сети на потерю напряжения учитывается ЭДС взаимоиндукции. При расчетах взаимным влиянием элементов сети, расположенных на расстоянии $a \geqslant 100$ м, можно пренебречь.

Электрическое сопротивление тяговой сети при переменном токе существеиио отличается от сопротивления при постоянном токе. При переменном токе собствеиное сопротивление одиночио подвешенного контактного провода при частоте 50 Гц, используемой при электрнфикацин железиодорожного трансиорта промышленных предприятий,

$$z_o = r_a + 0{,}05 + j0{,}144\left(2{,}08 - \lg\frac{R_m}{\sqrt{\rho}}\right), \qquad (5.92)$$

где r_a — активное сопротивление провода, Ом/м; ρ — удельное сопротивление земли, Ом·км; R_m — расчетный радиус, м, круглого сплошного провода из неферромагнитного материала, $R_m = 0{,}78R$, круглого витого провода $R_m = 0{,}75R$, круглого сталеалюминиевого провода $R_m = 0{,}95R$, круглого стального провода в области перенасыщения $R_m = 0{,}75 \cdot 10^{-2}$, где R — геометрический радиус провода.

В табл. 5.13 приведеиы характеристики проводов, используемых в контактной сети, модуль $\lvert z_к \rvert$ и аргумент $\varphi_к^0$ полного погоиного сопротивления и его актнвная $r_к$ и реактивная $x_к$ составляющие.

Входящие в табл. 5.13 значения сопротивлений связаны соотношением

$$z_к = r_к + jx = \lvert z_к \rvert e^{j\varphi_к^0}, \qquad (5.93)$$

где $\varphi_к^0 = \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{r}\right)$.

Если же контактная сеть состоит из нескольких проводов, то эквивалеитное сопротивление пучка проводов определяется собственным и взаимными сопротивлениями отдельных проводов, образующих пучок.

Продольное эквивалеитное сопротивление двухпроводиой системы, состоящей из контактного и усиливающего проводов, Ом/км,

$$z_э = \frac{z_к z_у - z_{к.у}^2}{z_к + z_у - 2z_{к.у}}, \qquad (5.94)$$

где $z_к$ — собственное сопротивление коитактиого провода, Ом/км; $z_у$ — собствеиное сопротивление усиливающего провода, Ом/км;

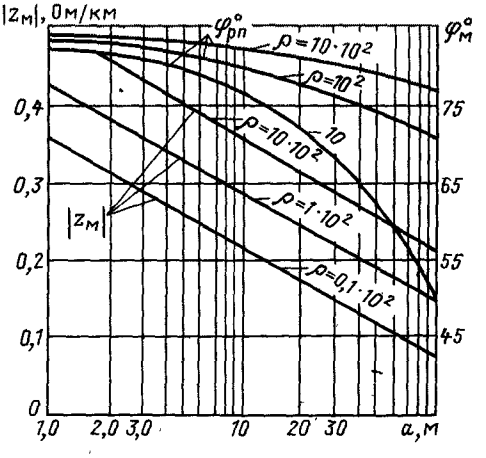


Рис. 5.10. Зависимость модуля взаимного сопротивления $\lvert z_м \rvert$ и его аргумента $\varphi_м^0$ от удельного сопротивления земли ρ, Ом·м, и ширины сближения a, м

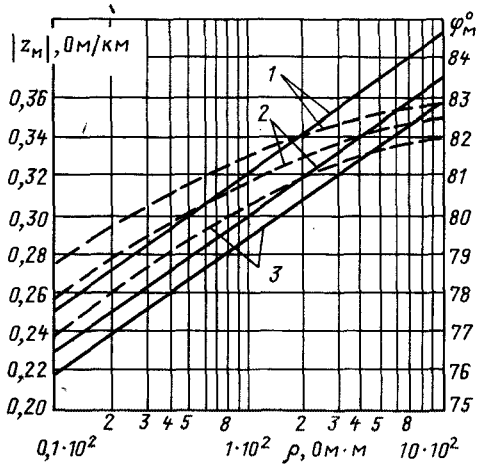


Рис. 5.11. Зависимость модуля взаимного сопротивления $|z_м|$ и его аргумента $\varphi^0_м$ от удельного сопротивления земли ρ, Ом·м, для различных конструктивных исполнений тяговой сети промышленного транспорта (сплошные линии $|z_м|$, пунктирные $\varphi^0_м$):
1 — для системы контактный провод — рельсы однопутного участка; *2* — усиливающий (питающий) провод — рельсы однопутного участка; *3* — усиливающий (питающий) провод — рельсы двухпутного участка

$z_{к.у}$ — сопротивление взаимоиндукции между контактным и усиливающим проводами, Ом/км.

Для частоты 50 Гц сопротивление взаимоиндукции (т. е. $z_{к.у}$ и т. д.), Ом/км,

$$z_м = 0{,}05 + j0{,}144\left(1{,}97 - \lg\frac{a}{\sqrt{\rho}}\right), \quad (5.95)$$

где a — расстояние между проводами, м.

На рис. 5.10 приведены графики зависимости модуля $|z_м|$ и аргумента φ^0 взаимного сопротивления от удельного сопротивления земли ρ (Ом·м) и ширины сближения a (м) для частоты $f=50$ Гц; на рис. 5.11 — графики зависимости модуля $|z_м|$ и аргумента φ^0 взаимного сопротивления от удельного сопротивления земли для различных конструктивных исполнений тяговой сети промышленного транспорта нормальной колеи.

В случае двух одинаковых контактных проводов эквивалентное сопротивление

$$z_э = \frac{1}{2}(z_0 + z_м). \quad (5.96)$$

При трех проводах в линии эквивалентное сопротивление всех проводов этой линии может быть определено следующим образом:

при расположении одинаковых проводов в вершинах равностороннего треугольника

$$z_э = \frac{1}{3}(z_0 + 2z_м); \quad (5.97)$$

при произвольном расположении проводов

$$z_э = \frac{r_0}{3} + 0{,}05 + j0{,}145\lg\frac{D_g}{R_g}, \quad (5.98)$$

где D_g — эквивалентная глубина протекания обратного тока, см, для предварительных расчетов исходя из средней проводимости земли $\sigma = 1\cdot10^{-2}$ см/м $D_g = 100\,000$ см; R_g — средний геометрический радиус пучка проводов, см,

$$R_g = \left(R_m a_g^2\right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5.99)$$

где a_g — среднее геометрическое расстояние между проводами, см,

$$a_g = \left(a_{1,2}\, a_{2,3}\, a_{3,1}\right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5.100)$$

где $a_{1,2}$, $a_{2,3}$, $a_{3,1}$ — расстояния соответственно между осями проводов 1 и 2; 2 и 3; 3 и 1 см.

Сопротивления контактных сетей с усиливающими проводами приведены в табл. 5.14, в которой приняты следующие условия: расстояние между контактными проводами при двойном проводе 10 см; расстояние между каждым усиливающим проводом в условной фазе 15 см; расстояние между контактным и усиливающим проводами 390 см; удельное сопротивление земли $\rho = 100$ Ом·м.

Конструкция контактной подвески, при которой резко различаются активные сопротивления проводов, нерациональна, так как при этом значительно уменьшается допустимая нагрузка контактной сети, что ведет к существенному снижению использования металла. В этом случае заметно увеличивается активное и полное сопротивление контактной сети.

Собственное сопротивление одиночного рельса, Ом/км,

$$z_{1\rho} = r_{р.а} + 0{,}05 + j0{,}144\left(1{,}97 + 5{,}2r_{р.а} - \lg\frac{R}{\sqrt{\rho}}\right), \quad (5.101)$$

где $r_{р.а} = \frac{0{,}91}{2}\sqrt{\mu}$ — активное сопротивление рельса, Ом/км; $R = P/2\pi$ — радиус рельса, м; μ — относительная магнитная проницаемость материала рельсов; P — периметр сечения рельса, м; для рельсов типов Р65, Р50 и Р43 соответственно равен 0,7; 0,52 и 0,56 м.

Зависимость $\mu = f(I)$ сложная, поэтому для практических расчетов с достаточной степенью точности значения активных сопротив-

Таблица 5.14. **Сопротивления контактных сетей с усиливающими проводами**

Марка провода	r, Ом/км	x, Ом/км	$\lvert z_э \rvert$, Ом/км	$\varphi°$
1МФ85+1А120	0,170	0,565	0,581	72°57′
1МФ85+1А150	0,155	0,550	0,571	74°16′
1МФ85+2А120	0,131	0,520	0,534	75°52′
1МФ85+2А150	0,122	0,515	0,531	76°40′
1МФ100+1А120	0,161	0,554	0,576	73°48′
1МФ100+1А150	0,148	0,550	0,569	74°55′
1МФ100+1А185	0,187	0,547	0,564	75°57′
1МФ100+2А120	0,125	0,520	0,535	76°29′
1МФ100+2А150	0,116	0,519	0,531	77°22′
1МФ100+2А185	0,109	0,518	0,529	77°07′
2МФ100+2А185	0,097	0,486	0,496	78°43′
2МФ100+3А185	0,088	0,475	0,484	79°31′

Таблица 5.15. **Зависимость активного сопротивления рельса $r_{р.а}$ от тока**

Ток I, А	Сопротивление одной нити рельсов, Ом/км		
	Р65	Р50	Р43
0	0,15	0,17	0,19
100	0,16	0,18	0,21
200	0,20	0,24	0,28
300	0,25	0,29	0,33
600	0,32	0,35	0,41
900	0,32	0,34	0,37
1000	0,31	0,33	0,34

лений рельса $r_{р.а}$ можно принимать по табл. 5.15.

Эквивалентное сопротивление двух рельсов

$$z_{э.р}=\frac{r_{р.а}}{2}+0{,}05+$$

$$+j0{,}144\left[1{,}97+5{,}2\,\frac{r_{р.а}}{2}-\lg\left(\frac{Ra_р}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}\right], \quad (5.102)$$

где $a_р$ — ширина колеи, м.

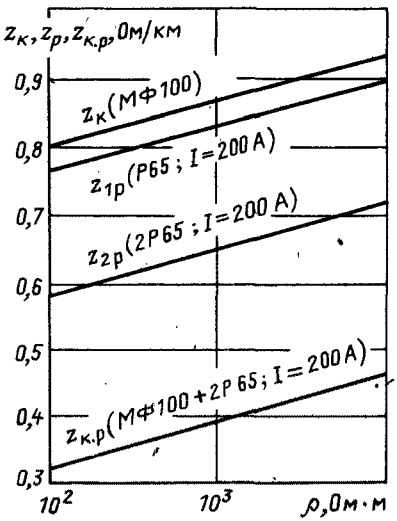


Рис. 5.12. Зависимость сопротивления контактной сети $z_к$, рельсовой сети $z_р$ и сопротивления взаимоиндукции $z_{к.р}$ от удельного сопротивления земли ρ

Для четырех рельсов двухпутного участка

$$z_{э.р2}=\frac{r_{р.а}}{4}+0{,}05+$$

$$+j0{,}144\left[1{,}97+52\,\frac{r_{р.а}}{4}-\lg\frac{\left(Ra_м^2\right)^{\frac{1}{4}}}{\rho^{\frac{1}{2}}}\right], \quad (5.103)$$

где $a_м$ — ширина междупутья, м.

Зависимости сопротивлений рельсов от тока в рельсе даны в табл. 5.16 и 5.17. В них принято удельное сопротивление земли ρ = = 100 Ом·м и расстояние между осями путей двухпутного участка 4,1 м.

При расчете эквивалентного сопротивления рельсов многопутных участков для упрощения расчетов принимается условие равномерного распределения тока между отдельными рельсами.

Зависимость сопротивления элементов контактной и рельсовой сети $z_к$, $z_р$ и их взаимоиндукции $z_{к.р}$ от удельного сопротивления земли ρ приведена на рис. 5.12.

Значения сопротивления петли контактно-рельсовой сети рассчитываются по формулам: максимальное

$$z_о=z_к+z_р-2z_{к.р}; \quad (5.104)$$

Таблица 5.16. **Сопротивление одиого рельса**

Ток, А	$(r+jx)$, Ом/км			$\lvert z_{1р}\rvert$, Ом/км		
	Р65	Р50	Р43	Р65	Р50	Р43
0	$0{,}20+j0{,}677$	$0{,}22+j0{,}69$	$0{,}24+j0{,}705$	0,704	0,725	0,73
100	$0{,}21+j0{,}684$	$0{,}23+j0{,}70$	$0{,}26+j0{,}725$	0,715	0,736	0,77
200	$0{,}25+j0{,}710$	$0{,}29+j0{,}74$	$0{,}33+j0{,}775$	0,751	0,796	0,843
300	$0{,}30+j0{,}750$	$0{,}33+j0{,}78$	$0{,}38+j0{,}815$	0,81	0,898	0,899
600	$0{,}37+j0{,}805$	$0{,}40+j0{,}83$	$0{,}46+j0{,}870$	0,886	0,922	0,985
900	$0{,}37+j0{,}805$	$0{,}39+j0{,}83$	$0{,}42+j0{,}845$	0,886	0,920	0,94
1000	$0{,}36+j0{,}795$	$0{,}38+j0{,}82$	$0{,}39+j0{,}820$	0,856	0,909	0,906

Таблица 5.17. **Сопротивление рельсов одиого пути (две нити рельсов)**

Ток, А	$(r+jx)$, Ом/км			$\lvert z_{1р}\rvert$, Ом/км		
	Р65	Р50	Р43	Р65	Р50	Р43
0	$0{,}125+j0{,}538$	$0{,}135+j0{,}546$	$0{,}145+j0{,}551$	0,555	0,565	0,575
100	$0{,}130+j0{,}542$	$0{,}140+j0{,}555$	$0{,}155+j0{,}560$	0,560	0,575	0,580
200	$0{,}150+j0{,}555$	$0{,}170+j0{,}565$	$0{,}190+j0{,}570$	0,570	0,590	0,600
300	$0{,}175+j0{,}570$	$0{,}195+j0{,}572$	$0{,}215+j0{,}575$	0,600	0,605	0,615
600	$0{,}210+j0{,}610$	$0{,}225+j0{,}625$	$0{,}235+j0{,}640$	0,650	0,665	0,685
900	$0{,}210+j0{,}610$	$0{,}220+j0{,}615$	$0{,}235+j0{,}620$	0,650	0,655	0,665
1000	$0{,}205+j0{,}595$	$0{,}215+j0{,}600$	$0{,}220+j0{,}615$	0,625	0,640	0,655

минимальное

$$z_{\text{о}}=z_{\text{к}}-\frac{z^2_{\text{к.р}}}{z_{\text{р}}}, \qquad (5.105)$$

Для определения сопротивления петли контактный провод — рельсы при использовании непрерывиого заземляющего провода в (5.104) и (5.105) вместо продольного сопротивления рельсов $z_{\text{р}}$ подставляется сопротивление $z_{\text{э}}$ эквивалентного провода системы непрерывный заземляющий провод — тяговые рельсы по (5.94), а сопротивление взаимоиндукции контактный провод — эквивалентный провод определяется по формуле

$$z_{\text{к.э}}=\frac{z_{\text{з.к}}(z_{\text{р}}-z_{\text{з.р}})+z_{\text{к.р}}(z_{\text{з}}-z_{\text{з.р}})}{z_{\text{р}}+z_{\text{з}}-2z_{\text{з.р}}}, \qquad (5.106)$$

где $z_{\text{з.к}}$, $z_{\text{к.р}}$, $z_{\text{з.р}}$ — взаимные сопротивления систем контактный провод — заземляющий провод, контактный провод — рельсы, заземляющий провод — рельсы соответственно, Ом/км.

Для подвески питающих линий применяют алюминиевые провода марок А120, А150 и А185. Определение сопротивления питающих линий может быть выполнено по (5.92), (5.95) — (5.98).

В табл. 5.18 приведены сопротивления питающих линий, состоящих из двух и трех алюминиевых проводов, исходя из условий, что расстояние между каждым проводом в линии 15 см, а удельное сопротивление земли $\rho=100$ Ом/м.

Зависимости сопротивлений питающих линий, состоящих из проводов марки А одинаковых сечений, от удельного сопротивления земли приведены на рис. 5.13.

Сопротивления отсасывающих линий, выполненных алюминиевыми проводами, рассчитывают по формулам для питающих линий или берут по табл. 5.18. Сопротивления рельсовых отсасывающих линий рассчитывают по (5.101) — (5.103). При расчетах сопротивления для одиого рельса можно пользоваться табл. 5.16.

Таблица 5.18. **Сопротивления питающих линий**

Марка провода	r, Ом/км	x, Ом/км	$\lvert z\rvert$, Ом/км	φ°
2А120	0,185	0,656	0,683	74°15′
2А150	0,154	0,649	0,666	76°38′
2А185	0,135	0,645	0,569	78°11′
3А120	0,138	0,61	0,626	77°14′
3А150	0,12	0,606	0,619	78°49′
3А185	0,107	0,604	0,622	79°57′

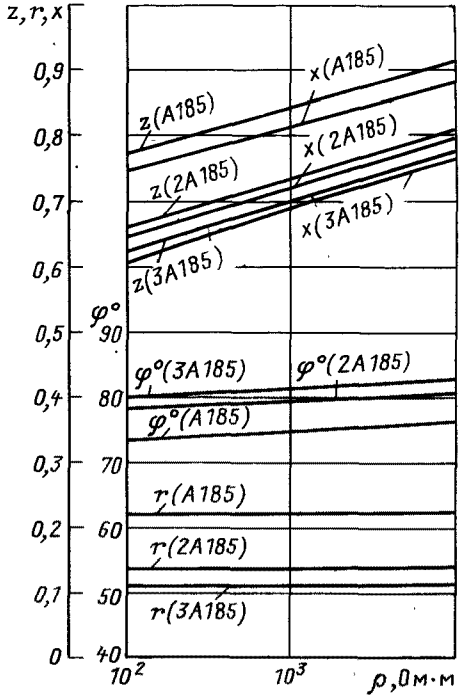


Рис. 5.13. Зависимости сопротивления (полного z, активного r, индуктивного x и аргумента $\varphi°$) алюминиевых проводов марки А185 от удельного сопротивления земли ρ

Электрические расчеты тяговой сети дизель-троллейвозного транспорта. Потери напряжения в тяговой сети рассчитывают по допустимому значению, приведенному в технической характеристике машины. Суммарную потерю напряжения в наиболее удаленной от питающего пункта точке контактной сети для каждой рассматриваемой расчетной схемы определяют по формуле

$$\Sigma \Delta U_{max} = \Delta U_к + \Delta U_п, \qquad (5.107)$$

где $\Delta U_к$ — потери напряжения в контактной сети, В; $\Delta U_п$ — потери напряжения в питающей сети.

Отдельные составляющие суммарной потери напряжения вычисляют по формулам, приведенным в табл. 5.8.

Для проверки выбранных сечений тяговой сети и определения тока срабатывания автоматических выключателей на подстанции рассчитывают токи короткого замыкания для каждой расчетной схемы.

Минимальный расчетный ток короткого замыкания должен быть равен, А,

$$I_к \geqslant (1{,}25 \div 1{,}3)\, I_{max}, \qquad (5.108)$$

где I_{max} — максимальный ток питающей линии, А.

5.10. ИНДУКТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ ОДНОФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Тяговая сеть переменного однофазного тока оказывает магнитное, гальваническое и электрическое влияния на соседние металлические коммуникации.

Магнитное влияние. Индуцируемая ЭДС, В, в протяженных металлических коммуникациях при параллельном сближении:

для одиночного влияющего провода (ннии)

$$\underline{E}_{к.п} = \underline{I}_{к.п} z_м l k, \qquad (5.109)$$

где $\underline{I}_{к.п}$ — ток влияющего (контактного провода, А; $z_м$ — сопротивление взаимоиндукции между влияющим проводом и проводом, подверженным влиянию (ППВ), Ом/км; k — коэффициент искажения формы кривой тока при работе выпрямительных электровозов, для проектных расчетов $k = 1{,}2$; l — длина участка ППВ, км;

для коитактной рельсовой сети

$$\underline{E}_{п.р.к} = (\underline{I}_{к.п} z_{к.п} - \underline{I}_р z_{р.п}) l k, \qquad (5.110)$$

где $\underline{I}_{к.п}$, $\underline{I}_р$ — токи контактного провода и рельсов, А; $z_{к.п}$, $z_{р.п}$ — сопротивлеиия взаимоиндукции между контактным проводом и ППВ и между рельсами и ППВ, Ом/км.

Сопротивление взаимоиндукции для частоты 50 Гц определяется по (5.95) или по кривым (рис. 5.10).

Ток рельсов для проектной практики принимается

$$\underline{I}_р = \underline{I}_{к.п} \frac{z_{к.р}}{z_р}. \qquad (5.111)$$

При малых длинах сближения и параметрах рельсовых путей, отличающихся от средних, защитное действие рельсов может существенно изменяться по сравнению с результатами расчетов, получаемых по (5.109) и (5.110).

Гальваническое влияние. Смежные металлические сооружения и коммуникации, проложенные в земле или имеющие заземление, подвержены гальваническому влиянию электрифицированного железнодорожного промышленного транспорта. Гальваническое влияние вызывается токами, стекающими с рельсов в землю вследствие иесовершенной изоляции рельсов от земли. Наибольшие градиенты потенциалов возникают вблизи рельсов. В то же время наименьший относительный потен-

циал земли наблюдается на грунтах с низким удельным сопротивлением. Это обстоятельство должно быть учтено при оценке условий электробезопасности работ на электрифицированных путях передвижных участков.

Электрическое влияние. Между контактным проводом и проводом, подверженным влиянию (ППВ), существует электрическая емкостная связь. Одной обкладкой конденсатора служит контактный провод, а другой — ППВ. Потенциал ППВ, В,

$$U_{\text{п}}=pk\frac{U_{\text{к}}bh}{a^2+b^2+h^2}\left(\frac{l_{\text{к}}}{l_{\text{п}}}\right), \qquad (5.112)$$

где p — коэффициент экранирования, характеризующий снижение наведенного потенциала при наличии вблизи других заземлениых проводов, $p\leqslant 1$;

$$k=\frac{2}{2{,}3\lg\left(\frac{2b}{R}\right)};$$

R — радиус контактного провода, м; $U_{\text{к}}$ — напряженне контактного провода, В; b — высота подвешивания над землей контактного провода, м; h — высота подвешивания над землей ППВ, м; a — расстояние между проводами, м; $l_{\text{к}}$, $l_{\text{п}}$ — длина контактного провода и ППВ соответственно, км.

Формула (5.112) действительна при $l_{\text{к}}\leqslant l_{\text{п}}$; при $l_{\text{к}}>l_{\text{п}}$ принимается $l_{\text{к}}=l_{\text{п}}$. Из (5.112) следует, что кабельные линии свободны от электрического влияния.

5.11. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАРЬЕРОВ

Потери мощности в системе тягового электроснабжения (СТЭ) состоят из потерь мощности в тяговой сети и на подстанции.

В системе электроснабжения постоянного тока, кВт,

$$\Delta P_{\text{т.с}}=P_{\text{ф}}-P_{\text{эл}}, \qquad (5.113)$$

где $P_{\text{ф}}$ — мощность, передаваемая питающими линиями, кВт; $P_{\text{эл}}$ — мощность, потребляемая электровозами, кВт.

Для односторонней схемы питания участка контактной сети

$$\Delta P_{\text{т.с}}=\sum_{i=1}^{m}\Delta U_i I_i 10^{-3}, \qquad (5.114)$$

где ΔU_i — потеря напряжения до i-го электровоза, В; I_i — ток i-го электровоза, А.

При двухстороннем питании участка

$$\Delta P_{\text{т.с}}=\left(\sum_{i=1}^{m}\Delta U_i I_i+\Delta U_{AB}I_y\right)10^{-3}, \qquad (5.115)$$

где ΔU_{AB} — разность уровней напряжения на шинах тяговой подстанции, В; I_y — уравнительный ток, вызванный разностью напряжений на шинах подстанции, А.

Для тяговой сети одиофазного перемеиного тока потери мощности, кВт,

$$\Delta P_{\text{т.с}}=\Delta P'+\Delta P'', \qquad (5.116)$$

где $\Delta P'$ и $\Delta P''$ — соответственно потери мощности, вызванные активной и реактивной составляющими токов электровозов, кВт,

$$\Delta P'=\sum_{i=1}^{m}\Delta U'_{ai}I'_i 10^{-3}; \qquad (5.117)$$

ΔU_{ai} — потеря напряжения до i-го электровоза в активном сопротивлении проводов тяговой сети, вызванная суммой активных составляющих токов электровозов, В; I_i — активная составляющая тока i-го электровоза, А;

$$\Delta P''=\sum_{i=1}^{m}\Delta U''_{ai}I''_i 10^{-3}; \qquad (5.118)$$

$\Delta U''_{ai}$ — потеря напряжения до i-го электровоза в активном сопротивлении проводов тяговой сети, вызванная суммой реактивных составляющих токов электровозов, В; I''_i — реактивная составляющая i-го электровоза, А.

Для схемы двухстороннего питания при различных напряжениях на шинах тяговых подстанций потери мощности, кВт, вызванные уравнительным током $I_{\text{у}}$, кВт,

$$\Delta P_{\text{у}}=I_{\text{у}}^2 R_{\text{а}}10^{-3}, \qquad (5.119)$$

где $R_{\text{а}}$ — активное сопротивление участка тяговой сети, питающегося от двух подстанций, Ом.

В. ТЯГОВАЯ СЕТЬ

5.12. КОНТАКТНАЯ СЕТЬ

Тяговая сеть состоит из контактной сети, питающих и отсасывающих линий, рельсовой сети. Контактная сеть может быть выполнена в виде контактных рельсов или воздушных контактных подвесок. В настоящее время на промышленном транспорте во всех случаях используется второй способ.

В зависимости от принятой на промышленном предприятии наибольшей скорости движения поездов (30, 50 и более 50 км/ч) рекомендуются соответственно следующие системы подвески контактных проводов: простая с сезонным регулированием натяжения (простое регулирование); простая с автоматическим регулированием натяжения контактного провода (простая компенсированная) без несущего троса; цепная с автоматическим регулированием натяжения контактного провода (цепная полукомпенсированная).

На передвижных путях карьеров и на отдельных участках постоянных путей (под бункерами, погрузочными люками, внутри зданий, складов и т. п.) при скоростях движения до 20 км/ч допускается применять жесткую подвеску контактных проводов.

Краткая характеристика систем подвесок контактного провода, применяемых на открытых горных разработках, приведена в табл. 5.19.

В зависимости от технологического назначения железнодорожных путей контактная сеть подразделяется на постоянную, ограниченно передвижную и передвижную. К постоянной относится контактная сеть в выездных траншеях, соединяющих карьер с обогатительными фабриками и с отвалами пустой

Таблица 5.19. **Системы подвесок и способы регулирования натяжения проводов контактной сети карьеров**

Система подвески	Напряжение в контактной сети	Характеристика	Область применения
Цепная полукомпенсированная	1,65—3,3 кВ постоянного тока, 10 и 25 кВ при 50 Гц однофазного тока	Подвеска контактных проводов к продольному несущему тросу в нескольких точках с автоматической регулировкой натяжения только контактного провода	Подъездные пути промышленных предприятий
Простая компенсационная	0,6—3,3 кВ постоянного тока и 10 кВ при 50 Гц однофазного тока	Подвеска контактных проводов с креплением к несущим конструкциям в одной точке и с регулировкой натяжения автоматическим способом	Электрифицированные железнодорожные пути транспорта открытых горных разработок, угольных разрезов, подъездные пути промышленных предприятий
Постоянная с сезонным регулированием	0,6 и 1,65 кВ постоянного тока	Подвеска контактных проводов с использованием узлов трамвайной подвески	Электрифицированные железнодорожные пути небольших карьеров, пути внутри цехов и приемных бункеров
Жесткая	0,6—2,3 кВ постоянного тока	Подвеска контактных проводов с жестким креплением в каждой точке без регулировки натяжения проводов или с сезонной регулировкой натяжения	Боковые передвижные контактные сети

Таблица 5.20. **Подвески контактной сети карьеров**

Подвеска	Напряжение в контактной сети	Характеристика	Область применения
1. Постоянная контактная сеть:			
консольная	До 3,3 кВ постоянного тока, 10 кВ однофазного тока	Подвеска контактного провода на однопутных участках путей	Электрифицированные подъездные и внутрикарьерные железнодорожные пути горнообогатительных комбинатов и угольных разрезов
поперечная на гибких поперечинах		Подвеска контактных проводов на поперечных, несущих тросах над несколькими (3—12) железнодорожными путями	Многопутные участки подъездных путей и станций карьеров и разрезов
поперечная на жестких поперечинах		Подвеска контактных проводов с креплением к жестким поперечинам, перекрывающим от двух до восьми железнодорожных путей	
2. Ограниченно передвижная контактная сеть:			
контактная подвеска на бесфундаментных опорах		Подвеска контактного провода на однопутных участках с габаритами и узлами крепления постоянной контактной сети	Участки заездов на рабочие горизонты и отвалы, а также внутри карьеров при наличии тяжелых скальных груитов
поперечная подвеска на гибких поперечинах на бесфундаментных опорах		Подвеска контактных проводов на поперечных несущих тросах, перекрывающих два-четыре пути	Внутрикарьерные станции и разъезды при наличии тяжелых скальных груитов
3. Передвижная контактная сеть:			
жесткая подвеска на металлических опорах, связаниых с рельсами	0,6 кВ постоянного тока	Подвеска контактного провода к неподвижной горизонтальной консоли через жестко закрепленный на ней изолятор	Контактные сети карьеров горно-химических предприятий, на которых работают многоковшовые экскаваторы
жесткая подвеска на отдельно стоящих деревянных опорах	До 1,65		Боковые контактные сети карьеров и отвалов открытых горных разработок
фиксаторная подвеска иа деревянных отдельно стоящих опорах	3,3 кВ постоянного тока, 10 кВ однофазного переменного тока	Подвеска контактного провода к подвижной фиксирующей конструкции с сезонным регулированием натяжения	

породы, а также станционных путей и путей перегонов на промышленной площадке.

На участках путей, соединяющих постоянные пути с передвижнымн, применяют ограниченно передвижную сеть. Передвнжная контактная сеть подвешивается на всех периодически перемещаемых путях карьеров и отвалов. Подвески контактной сети, применяемые на карьерном транспорте, и рекомендуемые области их использования приведены в табл. 5.20.

Постоянная контактная сеть. В настоящее время на промышленном транспорте наибольшее распространение имеет простая ком-

пенсированная подвеска контактного провода. На одно- и двухпутных перегонах применяют консольные подвески, которые имеют несколько вариантов конструктивных решений.

Наиболее совершенной конструкцией является эластичная подвеска контактного провода на наклонных неизолированных консолях (рис. 5.14, *а*). В этой подвеске контактный провод крепится к консоли при помощи вертикальной петлевой струны. Подвеска рассчитана на работу в тяговой сети напряжением 1,5 и 3 кВ постоянного тока и 10 кВ переменного тока. При напряжении 1,5 кВ в подвеске используют один подвесной и фиксаторный изоляторы. Подвесной изолятор воспринимает вертикальные нагрузки от узла крепления контактного провода к консоли. Положение контактного провода относительно оси пути регулируют фиксатором, укрепленным на консоли. При напряжении 3 кВ постоянного тока и 10 кВ переменного тока для вертикального крепления подвески к консоли применяют два подвесных изолятора и один фиксаторный стержневой изолятор на 25 кВ для горизонтального закрепления провода.

Длины опорных пролетов эластичной подвески в зависимости от радиусов кривой пути при подвешивании на наклонных неизолированных консолях $L_к$ и гибких поперечинах $L_п$ (см. рис. 5.14, *б, в*), а также длины струновых пролетов $l_с$ в зависимости от длин опорных пролетов $L_к$ для подвешивания на консолях приведены ниже:

Радиус кривой, м	∞	1000	800	600	500	400	300	200	100
Длина опорных пролетов, м									
$L_к$	53	53	52	48	45	42	38	32	20
$L_п$	48	48	48	48	45	42	38	32	20
Длина струновых пролетов, м									
$L_к$	53—49	48—42		41—34		33—36		25—20	
$l_с$	14	12		10		8		6	

Максимальная длина опорного пролета $L_п$ при подвешивании на гибких поперечинах не должна превышать 48 м, а длина струнового пролета $l_с$ постоянна и равна 10 м.

На станциях и многопутных перегонах используют подвески контактного провода на гибких или жестких поперечинах (рис. 5.15).

Поперечную подвеску на гибких поперечинах выполняют с одним верхним несущим и одним фиксирующим тросами. Стрела провеса верхнего несущего троса составляет от 1/10 до 1/12 длины поперечного пролета. Для регулирования натяжения несущего и фиксирующих тросов служат натяжные муфты, рассчитанные на усилие до 30 кН с ходом 400 мм. Расстояние по вертикали между несущим и фиксирующим тросами в точке их наибольшего провеса должно быть не менее 500 мм. Число и тип изоляторов такие же, как и в консольной подвеске.

Длина несущего троса поперечной подвески подсчитывается по формуле, м,

$$L_{н.т} = L + \frac{8f^2}{3L} - 1{,}5; \qquad (5.120)$$

длина фиксирующего троса, м,

$$L_{ф.т} = L - 2, \qquad (5.121)$$

где L — поперечное расстояние между опорами, м; f — стрела провеса несущего троса, м.

Изоляция основных узлов постоянной контактной сети выполняется высоковольтными подвесными или стержневыми изоляторами. Количество подвесных изоляторов в элементах контактной подвески приведено в табл. 5.21.

На металлургических заводах, обогатительных фабриках и других предприятиях, на участках путей с сильно загрязненной и запыленной средой в контактных сетях постоянного тока напряжением до 1650 В включительно применяют изоляцию на напряжение 3,3 кВ.

Подвешенный контактный провод делят на анкерные участки. Сопряжения анкерных участков могут быть изолированными и неизолированными. Неизолированные сопряжения выполняют по трехпролетной, а изолированные — по пятипролетной схеме. Регулирование натяжения контактных проводов при простых подвесках может быть сезонным — с помощью натяжных муфт и автоматиче-

Таблица 5.21. **Количество подвесных изоляторов в элементах контактной сети**

Узлы	Постоянный ток		Переменный ток	
	1,65	3,3	11	27,5
Точки вертикальной фиксации	1	2	2	3
Фиксаторы, фиксирующие тросы и оттяжки	1	2	2	3
Поперечно-несущие тросы гибких поперечин	1	2	2	3
Анкеровки контактных, несущих и усиливающих проводов	2	3	3	4

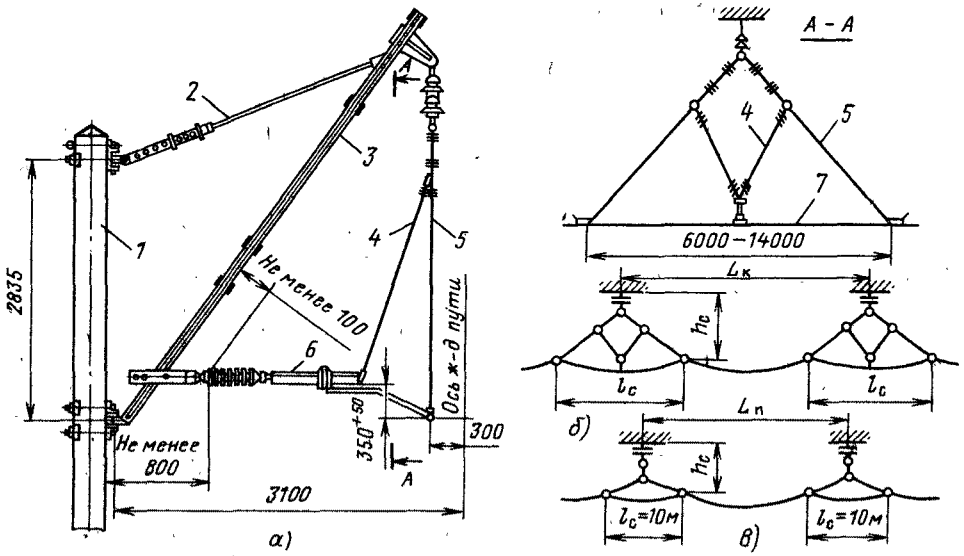


Рис. 5.14. Общий вид (*а*) и схемы эластичной подвески на консоли (*б*) и на гибкой поперечине (*в*): *1* — опора; *2* — тяга; *3* — консоль; *4* — растяжка; *5* — струна; *6* — фиксатор; *7* — контактный провод

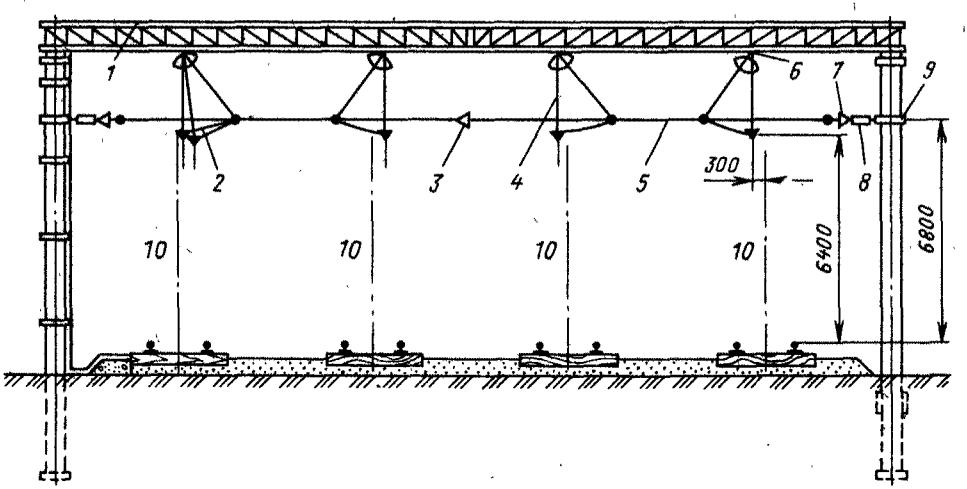


Рис. 5.15. Поперечная подвеска контактных проводов на жестких поперечинах: *1* — жесткая поперечина; *2* — фиксатор; *3* — поперечное секционирование; *4* — струны; *5* — трос (фиксирующий); *6* — конструкция подвески контактного провода и фиксирующего троса к жесткой поперечине; *7* — изолятор подвесной; *8* — натяжная муфта; *9* — конструкция крепления фиксирующего троса; *10* — ось железнодорожного пути

ским — с помощью грузовых компенсаторов (рис. 5.16). Сезонное регулирование применяют на постоянной контактной сети небольших рудников, транспорт которых работает на постоянном токе напряжением до 600 В, и на передвижной контактной сети карьеров напряжением 1,5 и 3 кВ постоянного тока и 10 кВ переменного тока. Анкерные пролеты принимают длиной 1300—1400 м. При длинах анкерного пролета 650—700 м один конец контактного провода крепят автоматической, другой — жесткой анкеровкой. При больших длинах оба конца имеют автоматическую анкеровку. При размещении анкерного пролета на

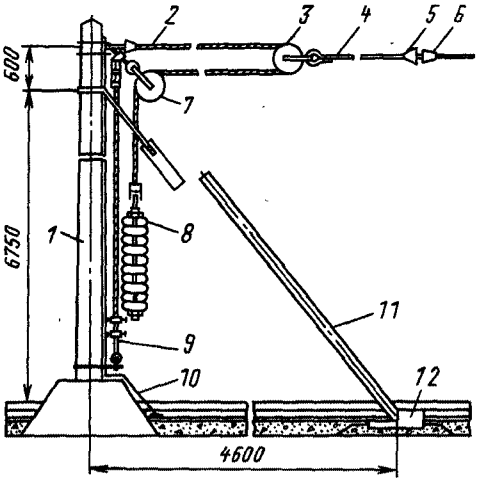


Рис. 5.16. Анкеровка контактного провода на бесфундаментной опоре при автоматическом регулировании натяжения:
1 — опора; *2* — трос компенсатора; *3* — подвесной блок компенсатора; *4* — штанга; *5* — подвесной изолятор; *6* — клиновый зажим; *7* — неподвижный блок компенсатора; *8* — железобетонный груз; *9* — трос ограничителя груза; *10* — заземление; *11* — подкос; *12* — анкерная плита подкоса

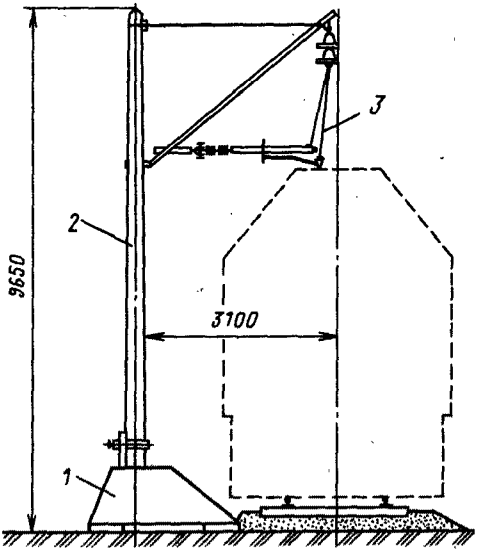


Рис. 5.17. Консольная подвеска контактного провода на бесфундаментной опоре:
1 — основание (железобетонная плита); *2* — деревянная стойка опоры; *3* — узел подвески провода

подъеме автоматические анкеровки располагают внизу, а жесткие — наверху.

На станциях и многопутных перегонах для параллельной работы секционированных участков контактной сети на расстоянии 260—300 м один от другого устанавливают электрические соединители. Их применяют также на горизонтальных площадках и подъемах до 15 % через три-четыре пролета, на подъемах более 15 % — через два-три пролета подвески. Электрические соединители выполняют из гибких медных проводов общей площадью сечения не менее площади сечения контактных проводов. При подвеске контактных проводов над стрелками для одновременного подъема проводов токоприемником применяют ограничительную трубку. На внутризаводском транспорте применяют простую подвеску с автоматическим натяжением контактного провода, на подъездных путях к предприятиям — цепную подвеску.

Ограниченно передвижная контактная сеть. Контактный провод при этой системе простой компенсированной подвески располагается над осью железнодорожного пути с габаритами постоянной контактной сети (рис. 5.17). Бесфундаментная опора имеет деревянную или металлическую стойку, установленную на железобетонной плите, лежащей на земле. Коэффициент устойчивости опоры равен 1,2. Для анкеровки проводов тяговой сети применяют опору, имеющую подкос с опорной плитой.

Передвижная контактная сеть. Устройство контактной сети на передвижных путях карьеров определяется способом передвижки железнодорожных рельсов и типами применяемых экскаваторов — одноковшовые или многочерпаковые. При работе одноковшовых экскаваторов для подвески проводов применяют отдельно стоящие опоры (рис. 5.18). Металлические опоры, связанные с рельсами, используют при работе многочерпаковых экскаваторов (рис. 5.19). Для предохранения контактного провода от повреждений ковшом экскаватора или куском породы его относят в сторону и токосъем осуществляют боковыми токоприемниками.

Допустимые смещения бокового провода, зависящие от типа электровоза, приведены в § 5.14 (см. табл. 5.27).

Для боковой контактной сети используют жесткие и фиксаторные подвески контактного провода. Жесткие подвески применяют при постоянном токе напряжением не более 1,65 кВ. Для постоянного и переменного тока напряжением соответственно 3 и 10 кВ используют фиксаторные подвески.

В конце передвижного пути контактный провод анкеруется также на передвижную опору, которая закрепляется оттяжкой.

В зависимости от длины передвижного пути применяют только концевую анкеровку

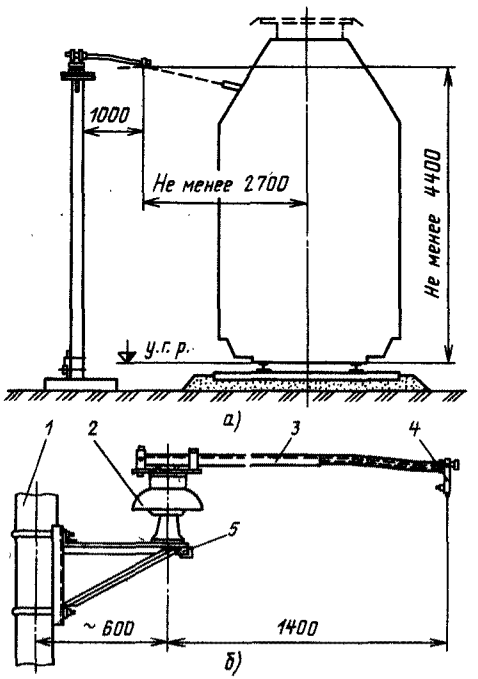


Рис. 5.18. Подвеска бокового контактного провода на отдельно стоящей опоре:
а — общий вид с расположением изолятора на вершине опоры; *б* — на конструкции сбоку опоры; *1* — опора; *2* — изолятор; *3* — подвижной фиксатор; *4* — фиксирующий зажим с контактными проводами; *5* — конструкция для установки изолятора

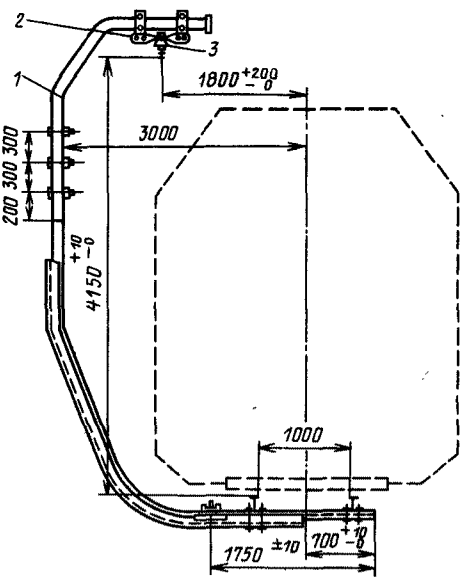


Рис. 5.19. Подвеска контактного провода на металлической опоре, связанной с рельсами:
1 — опора; *2* — полухомут для крепления изолятора; *3* — изолятор штыревой ШФ на 10 А

контактного провода (при длине анкерного участка до 500 м) или концевую и промежуточную анкеровку (при длине более 500 м).

Контактная сеть в зданиях и сооружениях, туннелях и штольнях. Системы подвески контактных проводов в искусственных сооружениях выбирают в зависимости от конструкции сооружения, скорости движения поездов и технологических процессов, происходящих в данном сооружении. На открытых эстакадах, мостах и путепроводах применяют простую компенсированную подвеску. Опоры крепят на закладных частях специальных площадок, предусмотренных на опорах мостов и путепроводов или на конструкциях, скрепленных с верхним строением сооружений. Внутри закрытых производственных помещений контактные провода подвешивают на гибких поперечинах или на вертикальных струнах с горизонтальной фиксацией. Расстояние между вертикальными подвесками принимается 6—20 м. Как правило, высоту подвески центрального провода принимают 5,5—6,5 м. В исключительных случаях допускается снижение подвески проводов до 5,2 м. Высота подвески боковых контактных проводов под искусственными сооружениями принимается 4,5—5 м. Боковой контактный провод размещается на расстоянии не менее 0,5 м от грани колонн здания или стен (рис. 5.20). Независимо от напряжения, принятого для контактной сети внутри зданий и сооружений, изоляция контактной сети выполняется двойной. При вводе контактной сети в цех и в надбункерные здания устраивается сигнализация и вывешиваются предупредительные плакаты.

В туннелях промышленных и горнорудных предприятий применяется простая подвеска контактного провода на вертикальных струнах с регулированием натяжения муфтами и с горизонтальной фиксацией провода (рис. 5.21).

Узлы подвески крепят к своду туннеля с расстоянием между точками подвеса не более 20 м. Под взрывоопасными газопроводами контактные провода располагают на расстоянии не менее 1,5 м. Когда невозможно обеспечить указанное расстояние между газопроводом и контактным проводом, устанавливают защитный металлический экран, располагаемый под газопроводом на металлических опорах.

При пересечении электрифицируемых железнодорожных путей с паропроводами, воздухопроводами и другими невзрывоопасными сооружениями и при недостаточном габарите (менее 7 м) на трубопроводах устанавливаются изолирующие отбойники.

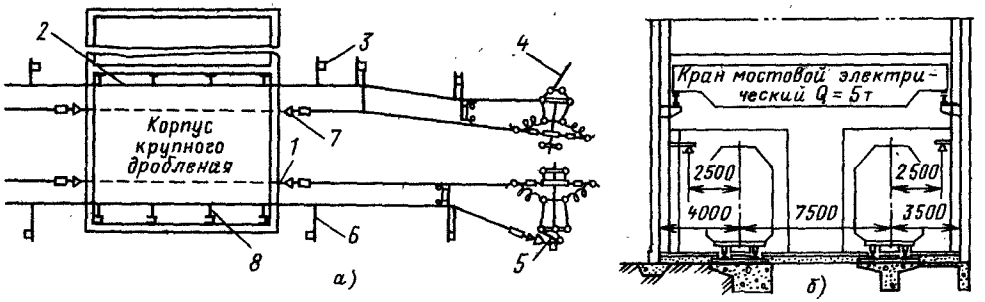


Рис. 5.20. Подвеска контактной сети в закрытом помещении:
а — план контактной сети; *б* — разрез корпуса крупного дробления; *1* — центральный контактный провод; *2* — боковой контактный провод; *3* — опора контактной сети; *4* — пункт секционирования; *5* — анкеровка бокового контактного провода; *6* — подвеска центрального провода; *7* — анкеровка центрального провода; *8* — подвеска бокового провода

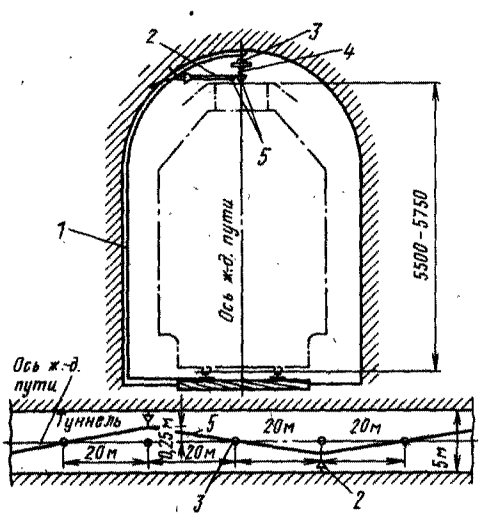


Рис. 5.21. Подвеска контакной сети в туннеле:
1 — заземляющий провод; *2* — фиксатор; *3* — подвесной изолятор; *4* — струна; *5* — контактный провод

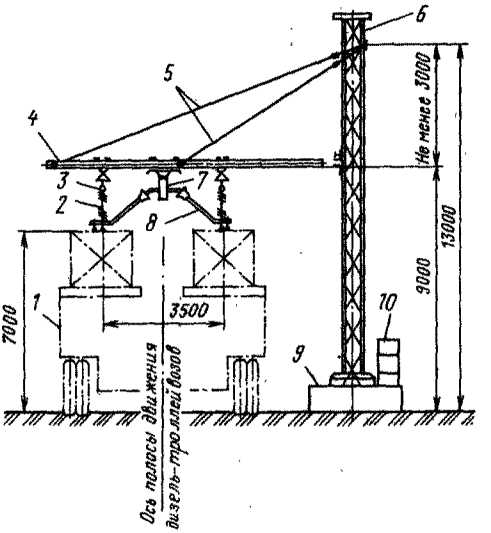


Рис. 5.22. Подвеска контактных проводов тяговой сети карьерных дизель-троллейвозов:
1 — дизель-троллейвоз; *2* — вертикальная струна; *3* — несущий трос; *4* — двухпутная консоль; *5* — тяга; *6* — металлическая опора; *7* — фиксаторная стойка; *8* — фиксатор; *9* — фундаментная плита; *10* — дополнительный железобетонный груз

Контактная сеть дизель-троллейвозного транспорта по габаритам и конструктивному выполнению отличается от применяемых в настоящее время подвесок на безрельсовом городском и железнодорожном промышленном транспорте. Общий вид подвески контактных проводов приведен на рис. 5.22. Для создания эластичности подвески и обеспечения необходимой электропроводности сети применена цепная полукомпенсированная подвеска с медным продольно несущим тросом М120 и двумя контактными проводами МФ100 в каждом полюсе. В качестве поддерживающей конструкции используют бесфундаментные опоры с металлическими стойками на железобетонной плите общей высотой не менее 13 м, двухпутные консоли и типовую арматуру контактной сети, применяемую на железнодорожном транспорте. Контактные провода подвешивают в плане без зигзага. В горизонтальном положении провода закрепляют фиксаторами. Подвешенные провода делятся на анкерные участки. Длина анкерного пролета принимается не более 1200 м. Питающие линии выполняются воздушными с алюминиевыми проводами, подвешиваемыми как на отдельно стоящих металлических опорах, так и на опорах контактной сети. Для защиты от атмосферных перенапряжений на всех анкерных или соседних с ними опорах устанавлива-

ются роговые разрядники с одним искровым промежутком, заземляемым на контур с сопротивлением растеканию не более 10 Ом.

Для подключения к контактным проводам питающих линий на опоре устанавливают по два секционных разъединителя типа РСУ-3000/3,3.

5.13. ПИТАЮЩИЕ, ОТСАСЫВАЮЩИЕ И УСИЛИВАЮЩИЕ ЛИНИИ

Питающие и отсасывающие линии проектируются воздушными и кабельными. Широко применяют подвеску проводов питающих, усиливающих и отсасывающих линий на опорах контактной сети.

На одной опоре допускается размещение не более четырех изолированных воздушных линий. В стесненных условиях территории промышленных предприятий для питающих и отсасывающих линий постоянного тока используют кабели.

При больших токах, возвращающихся на тяговую подстанцию, отсасывающие линии выполняются из алюминиевых шин или отслуживших свой срок железнодорожных рельсов. По территории промышленных площадок горно-обогатительных комбинатов шинные (или рельсовые) отсасывающие линии постоянного тока прокладывают в специальных железобетонных каналах на изоляторах, а в карьерах — в деревянном коробе на шпалах, укладываемых на щебеночную подсыпку. Рельсовые отсасывающие линии при тяге на переменном токе прокладывают непосредственно в земле без изоляции на глубине 0,7 м от поверхности. Сечение и число проводников отсасывающих линий определяют суммарным номинальным током установленных на тяговой подстанции выпрямительных агрегатов или тяговых трансформаторов. Длительно допустимая токовая нагрузка, А, для постоянного и переменного тока в зависимости от типа рельса имеет следующие значения:

Рельс	Для постоянного тока	Для переменного тока
Р43	3000—3500	1200—1500
Р50	3600—4000	1800—2000

Усиливающие линии проектируют только неизолированными алюминиевыми проводами марки А сечением 120—185 мм^2, подвешиваемыми на опорах контактной сети.

Неизолированные алюминиевые провода питающих, усиливающих и отсасывающих линий подвешивают с напряжением растяжению 10—50 МПа. Выводы питающих линий из тяговых подстанций и распределительных постов на концевых опорах закрепляют с напряжением не более 5 МПа. При спусках воздушных питающих линий в карьер и на отвалах применяют бесфундаментные переносные опоры.

Зависимость между количеством проводов, анкерируемых на опору, натяжением провода и допускаемым усилием для выбранного типа опоры определяется отношением

$$Z \geqslant Pn, \qquad (5.122)$$

где Z — допускаемое усилие на опору, кН; P — принятое максимальное натяжение провода, кН; n — количество проводов, закрепляемых на опоре. Изоляция воздушных питающих, отсасывающих и усиливающих линий при сечении проводов более 95 мм^2 осуществляется подвесными изоляторами. Количество изоляторов в узлах подвески приведено в табл. 5.22. В районах с загрязненной атмосферой количество изоляторов в подвеске увеличивается на один.

В пролетах пересечений питающих и отсасывающих линий с железными и автомобильными дорогами применяют анкерные опоры.

Расстояние по вертикали от проводов питающих, усиливающих и отсасывающих линий до поверхности земли и сооружений, а также расстояния при их взаимном пересечении или сближении даны в табл. 5.23.

Расстояния между проводами питающими и усиливающими и до заземленных конструкций приведены в табл. 5.24.

Пролеты между опорами определяют типом опор, числом и сечением подвешиваемых проводов, высотой расположения проводов над поверхностью земли и пересечений с искусственными сооружениями, железными и автомобильными дорогами. Длину анкерного

Таблица 5.22. **Количество подвесных изоляторов в элементах питающих, усиливающих и отсасывающих линий**

Узел	Постоянный ток, кВ		Переменный ток, кВ	
	1,65	3,3	11	27,5
Подвеска проводов питающих и усиливающих линий на опорах:				
металлических или железобетонных	1	2	2	3
деревянных	1	1	2	3
Анкеровка проводов к опорам:				
металлическим или железобетонным	2	3	3	4
деревянным	1	2	2	3
Отсасывающие линии	1	1	1	1

Таблица 5.23. **Габариты подвеса проводов питающих, усилнвающнх и отсасывающнх линий до поверхности земли и прн пересеченни и сближенни их с сооружениями**

Наименьшее расстояние от проводов ВЛ	Габарит подвеса, м		
	для отсасывающих ВЛ до 1 кВ	для питающих и усиливающих линий постоянного тока напряжением 1,65—3,3 кВ и переменного тока 10 кВ	для питающих линий переменного тока напряжением 25—30 кВ
До поверхности земли:			
в населенной местности	6	6	7
в ненаселенной местности	5	6	6
в местах, недоступных для транспорта и сельскохозяйственных машни	5	5	5
До поверхиости:			
иедоступных склонов гор, скал, утесов, откосов, уступов на карьерах и отвалах	3	3	3
иа территории карьеров, разрезов и отвалов	6	6	6
До уровня дорожного покрытия автодорог всех категорий	7	7	7
До головки рельсов иеэлектрифицированного пути	7,5	7,5	7,5
От контактного провода до линии электропередачи в месте пересечения контактиого провода с линией электропередачи	2	2	3
До проводов линий связи и сигнализации:			
по вертикали	1,5	2	—
по горизонтали	2	2	—
До ближайших частей зданий (по горизонтали)	1,5	2	4
До кроны деревьев	1	2	3
До надземных воздухо- и паропроводов	3	3	3
До иадземных газопроводов	3	3	3

Таблица 5.24. **Расстояние от элементов питающнх и усилнвающих ляний 1,65 и 3,3 кВ постоянного и 10,5 кВ переменного тока**

Расстояния	Нормируемые габарнты, мм	Расстояния	Нормируемые габарнты, мм
Между осями креплений линий, идущих по опорам контактной сети или по самостоятельным трассам при пролете между опорами до 50:		Между проводами линий, расположенных на разных кронштейнах по вертикали при обслуживаемой нижней линии и отключенной верхней для линий, идущих:	
в подвесках	1500	по опорам контактной сети	950
в анкеровках	1750	по самостоятельным опорам	2000
		Между проводами питающих линий в пролете от проходных изоляторов до первого ряда опор, расположенных на расстоянии не более 20 м от подстанции	950
Между осями креплений линий, идущих по самостоятельным трассам при пролете между опорами более 50:		От токоведущих частей питающих линий до заземленных конструкций	800
в подвесках	2500	От контактов разъединителей до токоведущих частей соседней линии	950
в анкеровках	2750		

пролета воздушных линий принимают не более 1500 м. Расстояние между передвижными опорами питающих линий в карьерах и на отвалах допускается не более 50 м.

Концевые опоры располагают на расстоянии 5—15 м от зданий тяговых подстанций и распределительных постов. На концевых опорах для обеспечения видимого отключения линий предусматривают разъединители. При числе выводов с тяговой подстанции более двух расстояние между концевыми опорами определяется расстоянием между токоведущими элементами разъединителей соседней линии, равным 2500 мм.

5.14. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРОВОДОВ И ДОПУСКАЕМЫЕ РАССТОЯНИЯ

Высоты расположения контактных проводов над уровнем головки рельсов (УГР) приведены в табл. 5.25.

На внутризаводских и подъездных путях под существующими искусственными сооружениями высота подвески контактного провода может быть снижена до высоты минимального рабочего положения пантографа, но не ниже 5200 мм.

Расстояние от головки рельса до рабочей поверхности полоза центральных токоприемников для различных типов промышленных электровозов и тяговых агрегатов приведено в табл. 5.26.

Высота подвески бокового контактного провода и вынос его от оси пути зависят от габаритов бокового токоприемника электровоза и тяговых агрегатов (рис. 5.23).

Допустимые высоты подвески и смещений бокового контактного провода приведены в табл. 5.27.

Контактный провод на прямых участках пути располагается зигзагообразно. Шаг зигзага занимает четыре или два пролета контактной сети. На кривых участках пути контактный провод выносят в сторону (наружу кривой).

Для промышленного транспорта смещение контактного провода от оси железнодорожного пути при зигзаге на прямых участках составляет ± 300 мм, а на кривых — 400 мм. При этом отклонение от приведенных данных не должно превышать ± 30 мм.

Наибольшее горизонтальное отклонение контактного провода от оси токоприемника на постоянных путях при действии на них ветра с учетом прогиба опор не должно превышать 500 мм на прямых и 450 мм на кривых участках пути.

Контактные провода боковой контактной сети на передвижных путях допускается располагать без зигзага. Предельные углы излома контактного провода при анкеровке следующие:

Сечение провода, мм^2	65	85	100
Угол излома, град.	18	16	15

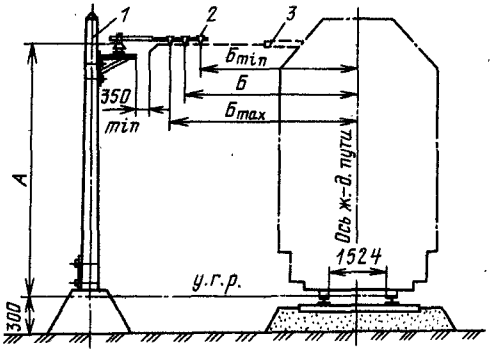


Рис. 5.23. Габариты подвески бокового контактного провода:
1 — передвижная опора; *2* — контактный провод; *3* — боковой токоприемник

В местах перехода с центральной подвески на боковую контактный провод должен подвешиваться с уклоном: провод центральной подвески $1/10\ ^0/_{00}$, провод боковой подвески $1/25^0/_{00}$.

Расстояние от контактного провода до расположенных над ним заземленных частей искусственных сооружений и опорных устройств (мостов, путепроводов, сигнальных мостов и т. д.) должно быть при двух контактных проводах не менее 500 мм, при одном — не менее 650 мм.

В пределах искусственных сооружений карьеров наименьшие расстояния от токоприемника электровоза и частей контактной сети, находящихся под напряжением, до заземленных частей сооружений должны быть не менее: при номинальном напряжении до 1 кВ — 150 мм; до 4 кВ — 200 мм; до 10 кВ — 250 мм; выше 10 кВ — 350 мм.

Таблица 5.25. **Высоты подвески контактных проводов**

Колея, м	Место подвески контактного провода	Наименьшая высота подвески в пролете при центральном расположении контактного провода, мм	Боковая подвеска контактного провода	
			Высота подвески от УГР, мм	Смещение контактного провода от оси пути, мм
	Промышленные электровозы			
750	На станциях На перегонах Под искусственными сооружениями	4200 3800 3600	3500—4000	1800—2500
1000	На станциях На перегонах Под искусственными сооружениями	5500 5000 4500	3900—4500	1800—2600
1520	На станциях На перегонах Под искусственными сооружениями	6250* 5750* 5550	4100—5450**	2500—4300 (500 до стенки сооружения)
	Магистральные электровозы			
	Подъездные пути к предприятиям: на станциях на перегонах Допускается уменьшение: на станциях на перегонах В отдельных случаях при надлежащем обосновании допускается на перегонах: при постоянном токе при переменном токе	 6600* 6250* До 6250* До 5750* 5550 5750	 — — — — — —	 — — — — — —

* Наибольшая высота подвески контактного провода при любом типе электровоза не должна превышать 6800 мм.

** Высота подвески контактного провода над уровнем головки рельсов на передвижных железнодорожных путях при боковой подвеске должна быть не менее 3900 мм.

Продолжение табл. 5.26

Таблица 5.26. **Габариты допустимых зон центральных токоприемников**

Подвижной состав	Расстояние от головки рельса до рабочей поверхности центральных токоприемников, мм		
	наименьшее	наибольшее	в нерабочем положении
Электровозы:			
ЕЛ21	5100	6800	4850
ЕЛ1	5100	6500	4660
ЕЛ2	5100	6500	4660
21Е	5100	6500	4800
26Е	5100	6500	4984
Д94	5550	7000	5256
Тяговые агрегаты:			
ПЭ2М	5500	5000	5100
ПЭ1	5500	7000	5100
ПЭ3Т	5600	7100	5200
ЕЛ10	5370	7210	5203
ОПЭ1	5650	7150	5250
ОПЭ2	5600	7100	5200
ОПЭ1А	5600	7100	5200
ОПЭ1Б	5600	7100	5200

Таблица 5.27. **Габариты расположения бокового контактного провода**

Подвижной состав	Рабочие зоны боковых токоприемников промышленных электровозов и тяговых агрегатов	
	А — допустимая высота подвески от УГР, мм	*Б* — допустимое смещение контактного провода от оси пути, мм
Электровозы:		
Е21	5100—5300	2700—3600
ЕЛ1	4400—5300	2600—3200
ЕЛ2	4400—5300	2600—3200
26Е	4100—4300	2600—3260
Д94	4400—5300	2900—3900
Тяговые агрегаты:		
ПЭ2М	4500—5320	3200—4000
ПЭ1	4500—5320	3200—4000
ПЭ3Т	4400—5300	3400—4300
ЕЛ10	4650—5450	2500—3200
ОПЭ2	4520—5320	3200—4000
ОПЭ1А	4500—5300	3200—4000
ОПЭ1Б	4500—5320	3200—4200

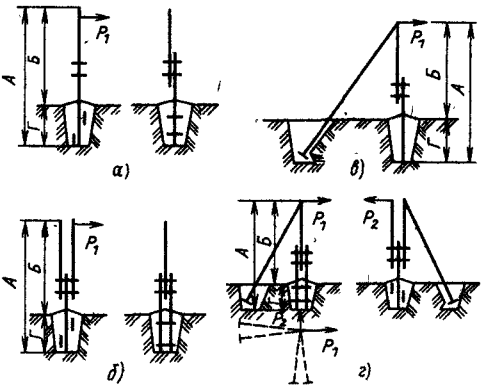


Рис. 5.24. Схемы деревянных опор

5.15. ОПОРНЫЕ И ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Для подвески проводов тяговой сети применяют деревянные, металлические и железобетонные опоры.

Опоры постоянной контактной сети. В лесистых районах страны при ограниченном сроке службы электрифицированных путей (не более 5—10 лет) могут быть применены деревянные опоры (рис. 5.24, табл. 5.28).

При электрификации железнодорожных путей промышленных предприятий используют металлические опоры направленные МН и ненаправленные М (рис 5.25, табл. 5.29), применяемые на магистральном транспорте, и опоры У^{м} (уголковые, модернизированные), разработанные институтом Тяжпромэлектропроект (рис. 5.26, табл. 5.30). Опоры МН и М применяют при цепной подвеске и при использовании двухпутных консолей. Металлические опоры У^{м} применяют для подвески контактной сети на станциях и проводов питающих и отсасывающих линий.

Опоры У^{м} устанавливают на бетонные фундаменты и скрепляют анкерными болтами. Опоры У^{м}=2,5, У^{м}=4,5, У^{м}=7 и У^{м}=10 допускают нагрузку только в одном направлении (вдоль узкой стороны).

Конические железобетонные опоры СКЦ$_0$ и СКЦ (рис. 5.27, табл. 5.31) применяются при консольной подвеске проводов и жестких поперечинах на станциях. Опоры СКЦ$_0$ с несущей способностью 45,60 и 80 кН·м используются только на участках постоянного тока с повышенной электрокоррозией и с требованиями повышенной надежности. Опоры СКЦ с несущей способностью 45, 60 и 80 кН·м применяют на участках как переменного, так и постоянного тока при отсутствии электрокоррозийных процессов, а опоры СКЦ$_0$ и СКЦ несущей способностью 100 кН·м — только по специальному разрешению. Опоры длиной 13,6 м устанавливают непосредственно в грунт (цельные опоры). Опоры длиной 10,8 м устанавливают в стаканные фундаменты (раздельные опоры).

Бесфундаментные отдельно стоящие опоры служат для центральной подвески контактного провода ограниченно передвижной контактной сети (рис. 5.28 и табл. 5.32), устанавливаются на железобетонные основания. Для анкеровки контактных проводов используют опоры с подкосами.

Для обеспечения устойчивости опор МЖЦ применяют дополнительные пригрузочные блоки, приведенные ниже:

Опора	МЖЦ-15/10	МЖЦ-15/12	МЖЦ-20/12
Масса (кг) × число (шт.) блоков ГБ	1520×1	1520×2	1520×4

Таблица 5.28. **Основные данные деревянных опор контактной сети**

Опора	Расчетное усилие P_1, приведенное к вершине опоры, кН	Размеры, м		
		А	*Б*	*Г*
Деревянная одноночная с железобетонным пасынком (рис. 5.24, *а*):				
ДСБ-2,5/10	2,5	10	8	2
ДСБ-2,5/11	2,5	11	9	2
ДСБ-4/10	4	10	7,5	2,5
ДСБ-4/11	4	11	8,5	2,5
Деревянная сдвоенная с двумя железобетонными пасынками (рис. 5.24, *б*):				
2Д2СБ-7/10	7	10	7,5	2,5
2Д2СБ-7/11	7	11	8,5	2,5
2Д2СБ-10/12	10	12	9	3
2Д2СБ-10/13	10	13	10	3
Деревянная одиночная с железобетонным пасынком и оттяжкой (рис. 5.24, *в*):				
ДОСБ-15/11	15	11	9	2
ДОСБ-15/12	15	12	10	2
Деревянная сдвоенная с двумя железобетонными пасынками и оттяжками (рис. 5.24, *г*):				
2Д2ОСБ-15+20/12	$P_1=15$*	12	9,5	2,5
2ДОСБ-15+20/13	$P_2=20$*	13	10,5	2,5

* P_1 и P_2 — усилия поперек и вдоль пути.

Таблица 5.29. **Основные данные металлических опор МН и М**

Назначение опоры	Тип опоры	Нормативный изгибающий момент, кН·м	База в плоскости большего момента, мм	Масса, кг, при стыках	
				болтовых	сварных
Для гибких поперечин без анкеровки	МН $\frac{35}{15}$-73	350	1200/400	782	765
	МН $\frac{45}{15}$-73	450	1500/500	851	834
	МН $\frac{65}{15}$-73	650	1500/500	1041	1011
	МН $\frac{65}{20}$-73	650	1800/600	1284	1252
	МН $\frac{105}{20}$-73	1050	2000/800	1779	1722
	МН $\frac{150}{20}$-73	1500	2000/800	2127	2059
Для гибких поперечин с анкеровкой	МН $\frac{45—25}{15}$-73	450/250	1500/500	1194	1176
	МН $\frac{65—25}{15}$-73	100 150	1000/500 1000/500	— —	482 559
Для двухпутных консолей без анкеровки	М $\frac{10}{13}$-73	100 150	1000/500 1000/500	— —	482 559
Для однопутных консолей с анкеровкой	М $\frac{10—40}{10}$-73	100/400	1500/835	—	790

Примечания: 1. Цифры в числителе обозначают нормативный изгибающий момент (тс·м) в основании опоры в плоскости действия нагрузки, в знаменателе — высоту опоры, м.

2. 73 — год разработки опоры.

3. У анкерных направленных опор для гибких поперечин в числителе даны два изгибающих момента в перпендикулярных плоскостях.

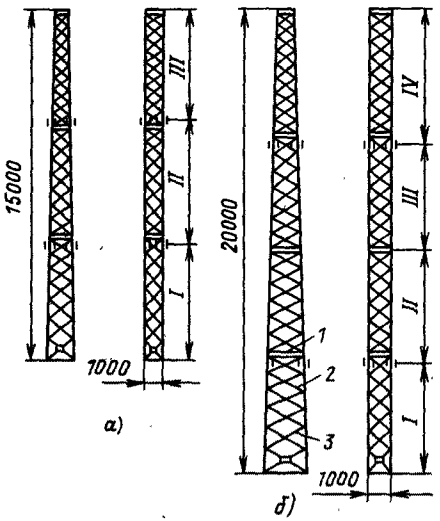


Рис. 5.25. Металлические опоры гибких поперечин цепной подвески контактных проводов высотой до 15 м (*а*) и до 20 м (*б*):
1 — диафрагма; *2* — раскол решетки; *3* — стойка

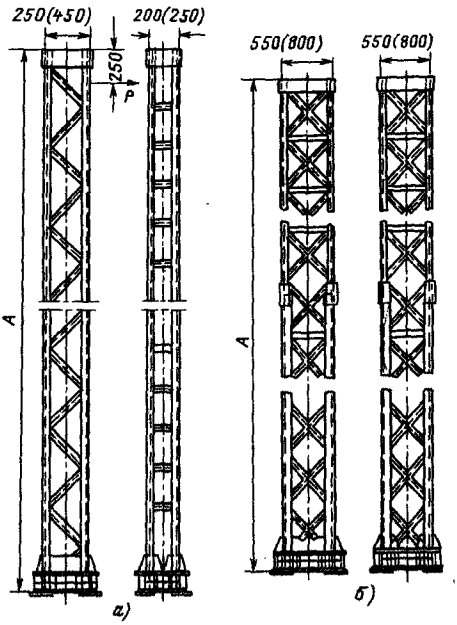


Рис. 5.26. Металлические опоры типа У^{м}

Таблица 5.30. **Основные данные металлических опор У^{м}**

Тип опоры		Строительная длина A, м	Маркировка фундамента для грунтов категорий	
			I	II — V
У^{м}-2,5/8,5	(рис. 5.26, *а*)	8,5	ФУ^{м}-2	ФУ^{м}-1
У^{м}-2,5/9		9	ФУ^{м}-2	ФУ^{м}-1
У^{м}-4,5/8,5		8,5	ФУ^{м}-3	ФУ^{м}-3
У^{м}-7/9		9	ФУ^{м}-7	ФУ^{м}-6
У^{м}-7/10		10	ФУ^{м}-7	ФУ^{м}-6
У^{м}-7/11		11	ФУ^{м}-7	ФУ^{м}-6
У^{м}-10/9		9	ФУ^{м}-8	ФУ^{м}-8
У^{м}-10/11		11	ФУ^{м}-9	ФУ^{м}-9
У^{м}-10/13		13	ФУ^{м}-9	ФУ^{м}-9
У^{м}-15/11	(рис. 5.26, *б*)	11	ФУ^{м}-12	ФУ^{м}-12
У^{м}-15/12		12	ФУ^{м}-12	ФУ^{м}-12
У^{м}-15/14		14	ФУ^{м}-12	ФУ^{м}-12
У^{м}-20/9		9	ФУ^{м}-13	ФУ^{м}-13
У^{м}-20/11		11	ФУ^{м}-13	ФУ^{м}-13
У^{м}-20/13		13	ФУ^{м}-15	ФУ^{м}-14
У^{м}-20/15		15	ФУ^{м}-15	ФУ^{м}-15
У^{м}-30/9		9	ФУ^{м}-16	ФУ^{м}-15
У^{м}-30/11		11	ФУ^{м}-16	ФУ^{м}-15
У^{м}-30/13		13	ФУ^{м}-17	ФУ^{м}-17
У^{м}-30/15		15	ФУ^{м}-19	ФУ^{м}-17
У^{м}-35/9		9	ФУ^{м}-17	ФУ^{м}-17
У^{м}-35/11		11	ФУ^{м}-17	ФУ^{м}-17
У^{м}-35/13		13	ФУ^{м}-19	ФУ^{м}-17
У^{м}-35/15		15	ФУ^{м}-20	ФУ^{м}-18

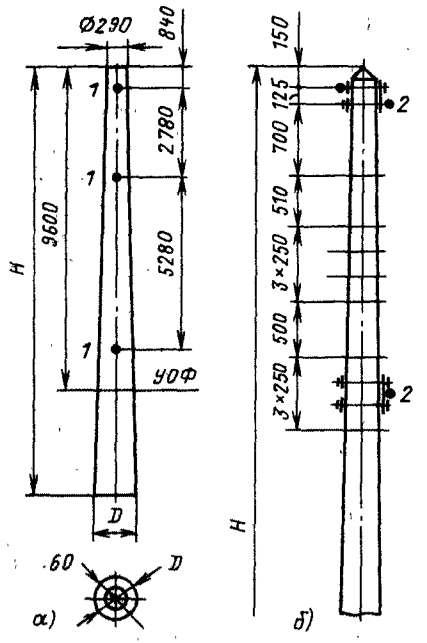


Рис. 5.27. Железобетонные опоры:
а — общий вид железобетонной опоры СКЦ; *б* — размещение отверстий и закладных деталей; *1* — вывод заземляющего провода (опоры линий переменного тока); *2* — закладная деталь; *D* — диаметр внизу опоры; УОФ — условный обрез фундамента

При анкеровке проводов дополнительно устанавливают подкосы, которые опираются на железобетонную плиту. При монтаже контактной сети на опорах типа МЖЦ-10/12, МЖЦ-15/12 и МЖЦ-20/12 с подкосами необходимо выполнять следующие условия: точки приложения нагрузки P_2 от анкеровки проводов должны находиться на расстоянии не более 1 м от отметки крепления подкоса к стойке опоры; направление нагрузки P_2 должно совпадать с осью подкоса; нагрузки P_1 и P_2 на опору даны для условия приложения их перпендикулярно граням опоры и под углом 90° (допускается отклонение $\pm 10°$, но тогда усилие P_1 должно быть принято с коэффициентом К=0,8).

Для передвижной контактной сети применяют опоры отдельно стоящие и связанные с рельсами. Наибольшее распространение на открытых горных разработках получили отдельно стоящие опоры с деревянными стойками на железобетоином или металлическом основании (рис. 5.29, табл. 5.33).

Передвижные опоры, связанные с рельсами, показаны на рис. 5.30, их данные приведены в табл. 5.34. Опоры НМР допускают подвеску одного контактного провода марки МФ-85 и МФ-100 на прямых и кривых участках пути и двух контактных проводов в местах сопряжения анкерных участков, опоры НМР-ПА-600 допускают подвеску контактных проводов с одновременной анкеровкой проводов другой анкериой ветви, причем усилие от анкеровки воспринимается оттяжкой, опора ВМР-А-600 предназначена для концевой анкеровки.

Опоры питающих и отсасывающих линий. Для подвесок проводов питающих и отсасывающих линий используют железобетонные опоры СКЦ и металлические У[м]. На открытых горных разработках применяют специальные

Таблица 5.31. **Основные данные железобетонных опор**

Тип опоры	Нормативный момент, кН·м	Длина опоры, м	Объем бетона, м³	Масса арматуры, кг	Масса опоры, кг
СКЦ$_о$-4,5-13,6	44	13,55	0,85	85,2	2100
СКЦ$_о$-6,0-13,6	59	13,55	0,85	110,9	2100
СКЦ$_о$-8,0-13,6	78	13,55	0,85	154,8	2100
СКЦ$_о$-10,0-13,6	98	13,55	1,01	221,3	2520
СКЦ$_о$-4,5-10,8	44	10,75	0,63	61,2	1570
СКЦ$_о$-6,0-10,8	59	10,75	0,63	79,3	1570
СКЦ$_о$-8,0-10,8	78	10,75	0,63	111,1	1570
СКЦ$_о$-10,0-10,8	98	10,75	0,75	166,1	1880
СКЦ-4,5-13,6	44	13,55	0,85	65,1	2100
СКЦ-6,0-13,6	59	13,55	0,85	82,1	2100
СКЦ-8,0-13,6	78	13,55	0,85	115,5	2100
СКЦ-10,0-13,6	98	13,55	1,01	168,1	2520
СКЦ-4,5-10,8	44	10,75	0,63	50,8	1570
СКЦ-6,0-10,8	59	10,75	0,63	64,6	1570
СКЦ-8,0-10,8	78	10,75	0,63	91,1	1570
СКЦ-10,0-10,8	98	10,75	0,75	139,5	1880

Условные обозначения: С — струновая; К — коническая; Ц — центрифугированная; о — особая; за буквенным обозначением указывают несущую способность, кН·м, и длину опоры.

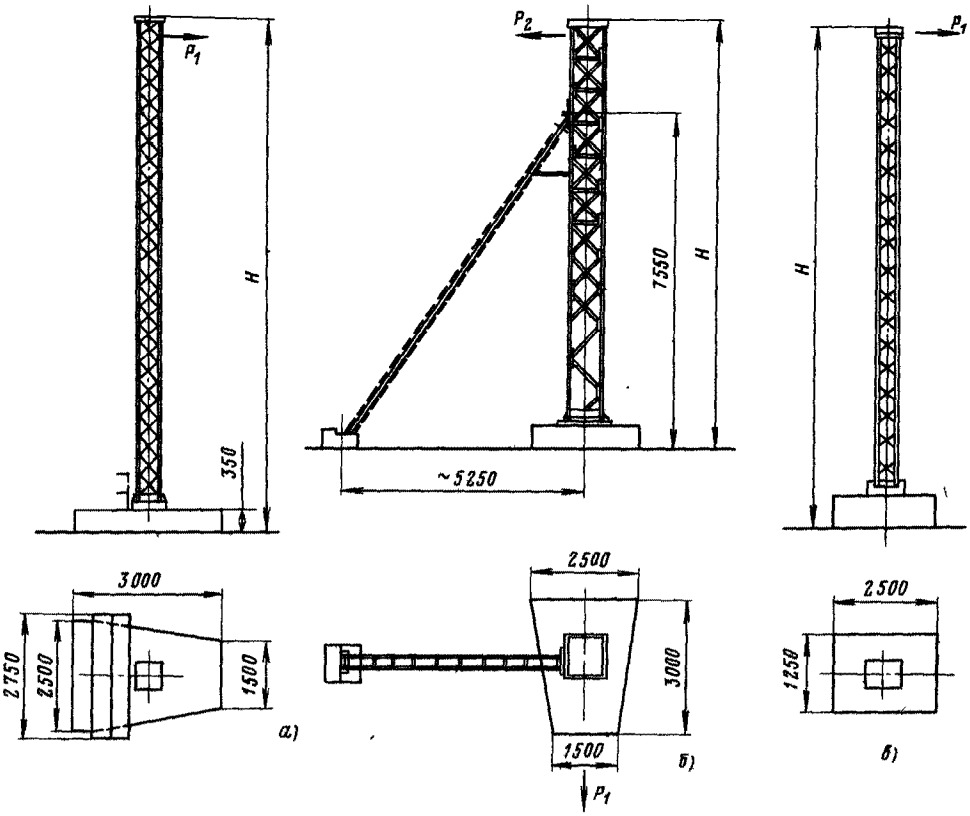


Рис. 5.28. Схемы бесфундаментных опор для центральной подвески контактного провода:
а, б — опоры типа МББ; *в, г* — опоры типа МЖЦ, *д* — опора типа ДЖЦ

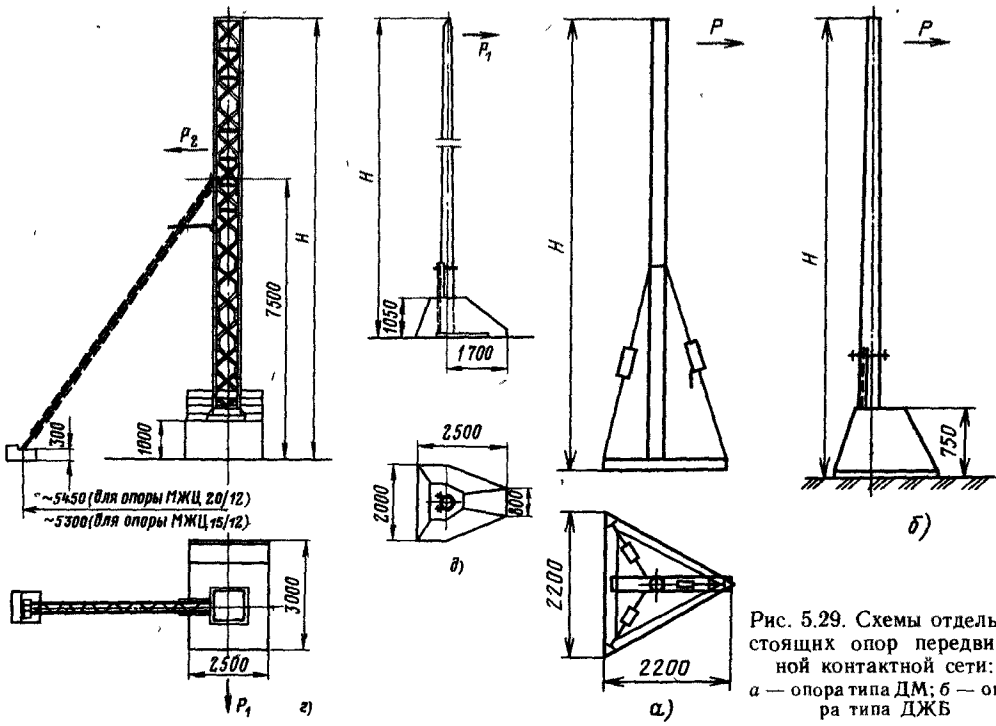


Рис. 5.29. Схемы отдельно стоящих опор передвижной контактной сети:
а — опора типа ДМ; *б* — опора типа ДЖБ

Таблица 5.32. **Основные данные бесфундаментных опор для центральной подвески контактного провода**

Тип опоры	Расчетное усилие на опору, кН		Высота опоры H, м
	поперек пути P_1	вдоль пути P_2	
Рис. 5.28, *а*			
МББ-4,5/8	4,5	—	8,1
МББ-6/9,5	6	—	9,67
МББ-10/9,5	10	—	9,5
МББ-10/11,5	10,8	—	11,5
Рис. 5.28, *б*			
МББ-6+10/9,5	6	10	9,5
МББ-6+20/9,5	6	10	9,5
МББ-10+20/9,5	10	10	9,5
Рис. 5.28, *в*			
МЖЦ-4,5/9,8	4,5	—	9,8
МЖЦ-7/10,8	7	—	9,8
МЖЦ-10/12	10	—	9,8
МЖЦ-15/12	15	—	12
МЖЦ-20/12	20	—	12
Рис. 5.28, *г*			
МЖЦ-10/12 с подкосом	10	10	12
МЖЦ-20/12 с подкосом	15	20	12
МЖЦ-20/12 с подкосом	20	20	12
Рис. 5.28, *д*			
ДЖЦ-4/9,5	4	—	9,65
ДЖЦ-5/9,5	5	—	9,65

Условные обозначения: М — металлическая; Б — бесфундаментная; Б — бетонный фундамент; Ж — железобетонное основание; Ц — для центральной подвески контактного провода.

Таблица 5.33. **Основные данные передвижных отдельно стоящих опор боковой контактной сети**

Тип опоры	Расчетное усилие на опору P, кН	Высота опоры H, м	Масса опоры, кг
ДМ-600-7 (см. рис. 5.29, *а*)	5,8	7	217
ДЖБ-2/5,5 (см. рис. 5.29, *б*)	1,95	5,5	757
ДЖБ-2/6,5	1,95	6,5	778

бесфундаментные опоры БМПП и БМПУ (рис. 5.31, табл. 5.35).

Консоли. В зависимости от числа перекрываемых путей консоли делят на однопутные и двухпутные, на промышленном транспорте чаще всего применяют однопутные наклонные неизолированные консоли (табл. 5.36), изготовленные из двух швеллеров № 5 или 6,5, скрепленных вместе соединительными планками. Сжатые тяги выполняют из труб диаметром 33,5 м, растянутые — из круглой стали диаметром 16 мм. Двухпутные консоли изготовляют только горизонтальными, из двух швеллеров № 10 или 12 с двумя тягами из круглой стали диаметром 20 мм.

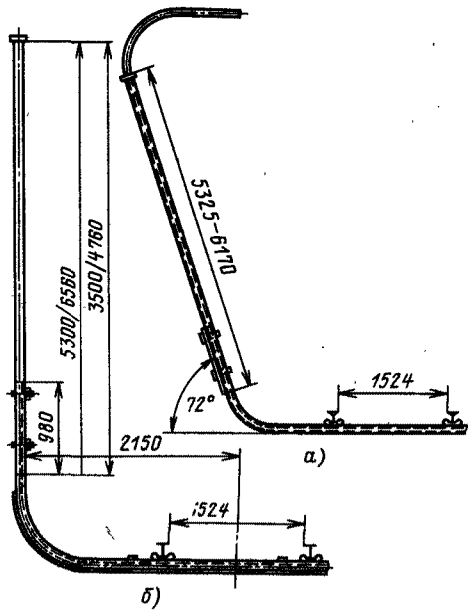


Рис. 5.30. Опоры, связаиные с рельсами передвижной контактной сети:
а — опора типа НМР; *б* — опоры типов НМР-ПА и ВМР-А

Таблица 5.34. **Основные данные передвижных, связанных с рельсами опор боковой контактной сети**

Тип опоры	Высота опоры, м	Масса опоры, кг
НМР-600 (см. рис. 5.30, *а*)	5,325	135
НМР-ПА-600 (см. рис. 5.30, *б*)	5,3	177
ВМР-А-600	5,3	177

Условные обозначения передвижных опор: ДМ — деревяиная иа металлическом основаннн; ДЖБ — деревянная иа железобетонном основаннн, боковая сеть; НМР — наклонная металлическая, связанная с рельсами; ВМР — вертнкальная металлическая, связанная с рельсами; ПА — промежуточная анкерная; А — концевая анкерная; 2 н 600 — расчетное усилие на опору (2 кН и 600 кгс).

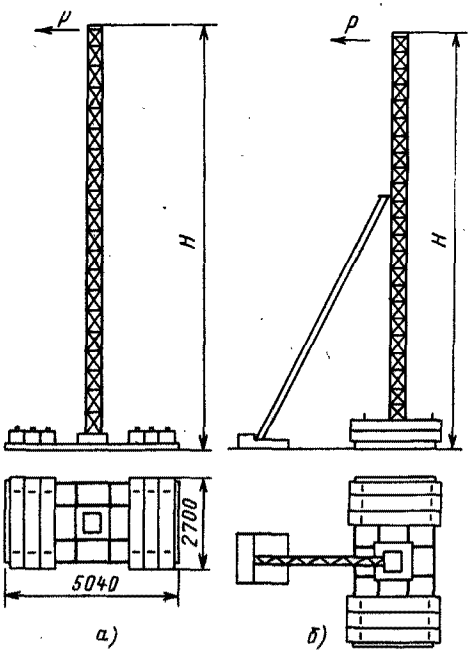


Рис. 5.31. Схемы передвижных металлических опор питающих линий:
1 — опора типа БМПП; *2* — опорв типв БМПУ

Т а б л и ц а 5.35. **Основные данные передвижных опор питающих линий**

Тнп опоры	Расчетная высота опоры H, м	Тнп стойки
БМПП-10/10	10	У^{м}-10/10
БМПП-10/11	11,5	У^{м}-10/11
БМПП-10/12	12,5	У^{м}-10/12
БМПП-10/13	13,5	У^{м}-10/13
БМПП-15/11	11,5	У^{м}-15/11
БМПП-15/12 (см. рис. 5.31, *а*)	12,5	У^{м}-15/12
БМПП-15/13	13,5	У^{м}-15/13
БМПП-15/14	14,5	У^{м}-15/14
БМПП-20/12	12,3	У^{м}-20/12
БМПП-20/13	13,3	У^{м}-20/13
БМПП-20/14	14,3	У^{м}-20/14
БМПУ-10/11	11,5	У^{м}-15/11
БМПУ-10/12	12,5	У^{м}-15/12
БМПУ-10/13	13,5	У^{м}-15/14
БМПУ-10/14 (см. рис. 5.31, *б*)	14,5	У^{м}-20/12
БМПУ-14/13	13,3	У^{м}-20/14
БМПУ-14/14	14,3	У^{м}-20/14
БМПУ-21/10	10,3	У^{м}-30/10
БМПУ-21/11	11,3	У^{м}-30/11

Продолжение табл. 5.35

Условные обозначения передвижных опор питающих линий: Б — бесфундаментная; М — металлическая; П — переносная; П — промежуточная; У — угловая; в числителе — усилие, приложенное к высоте, указанной в знаменателе. Нвпример, опоры БМПП-10/11 — на усилие 10 кН, приложенное на высоте 11 м. Опоры рассчитвны на приведенные нагрузки P, приложенные перпендикулярно к граии опоры. Для повышения устойчивостн передвижных опор применяют железобетонные грузы, масса железобетонного грузв равна 1000 кг.

Т а б л и ц а 5.36. **Данные неизолированных наклонных одиопутных консолей**

Тип консолн	Длина, мм		Масса, кг
	кронштейна	тягн	
НР-0-5	3630	1900	44
НР-I-5	4730	2600	56
НР-II-5	5230	3400	62
НР-III-6,5	6230	4400	85
НР-IV-6,5	7130	5300	97
НС-III-6,5п	6230	4400	98
НС-IV-6,5п	7130	5300	111
НС-I-5	4730	2600	46
НС-II-5	5230	3400	56
НС-I-6,5	4730	2600	64
НС-II-6,5	5230	3400	65
НС-III-6,5	6230	4400	72
НС-IV-6,5	7130	5300	87

Условные обозначения: Н — нвклонная; Р — растянутая тяга; С — сжатая тяга; римская цнфра — тип по длине кронштейнв; п — для устновки на опорах за платформсй.

Крепят двухпутные консоли на металлических опорах высотой не менее 13 м.

Жесткие поперечины представляют собой металлическую ферму (ригель) с треугольной решеткой из угловой стали. Длина основных ригелей принята от 16,1 до 44,2 м. Жесткие поперечиины могут быть одновременно однопролетными и многопролетиыми (с промежуточиыми стойками). В качестве опор используют иераздельные опоры СКЦ длиной 13,6 м и раздельные 11,2 или 12,8 м, устаиавливаемые в фундаменты стаканного типа.

5.16. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, УЗЛЫ И ДЕТАЛИ ТЯГОВОЙ СЕТИ

Контактные провода. Применяют медные и бронзовые профилированные контактные провода по ГОСТ 2584—86 * Е марок МФ, МФО, БрФ и БрФО. На карьерном траиспорте из-за больших тяговых токов в основном применяют медные провода сечением 100 мм^2.

Таблица 5.37. **Основные данные**

Марка провода	Номинальная площадь сечения, мм²	Размер фасонного контактного провода марок МФ, МФО, БрФ, БрФО (см. рис. 5.32), мм				
		A	*H*	*C*	*R*	R_1
МФ85	85	11,76±0,22	10,8±0,1	1,3	6	–
МФ100	100	12,81±0,25 (14,92±0,3)	11,8±0,11 (10,5±0,1)	1,8(13)	6,5(20)	(1,8)
МФ150	150	15,5±0,32 (18,86±0,35)	14,5±0,13 (12,5±0,12)	3,2(27)	7,8(36)	(2,3)

Примечание. В скобках приведены данные для овального провода.

Технические данные контактных проводов (рис. 5.32), применяемых на промышленном транспорте, приведены в табл. 5.37.

Бронзовые провода имеют высокую механическую прочность, но обладают повышенным электрическим сопротивлением и жесткостью, затрудняющей монтаж участков контактной сети с кривыми малого радиуса и передвижной контактной сети. Бронзовые провода в условиях карьеров не применяются. Овальный медный провод марки МФО используют только в случаях необходимости уменьшения ветровой нагрузки на контактную сеть.

Провода и кабели. Для усиливающих, питающих и отсасывающих линий применяют алюминиевые многопроволочные провода марки А сечением 70—185 мм²; в отдельных случаях при больших пролетах могут использоваться сталеалюминиевые провода сечением 120—185 мм². Электрическое соединение проводов контактной сети, устройство перемычек между питающими и усиливающими проводами, а также устройство стыковых электрических соединений выполняют медными многопроволочными проводами М (табл. 5.38) и МТ (табл. 5.39) сечением 50—95 мм².

Наибольшее значение допустимого длительного тока (продолжительностью 20 мин и более) в широко применяемых проводах тяговой сети приведено в табл. 5.40.

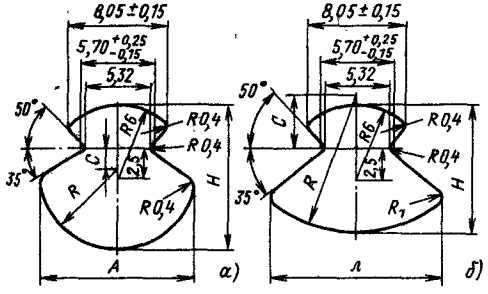


Рис. 5.32. Профили контактных проводов: *а* — фасонный; *б* — овальный

Для кабельных линий применяют силовые кабели с алюминиевыми жилами марок ААБ, АСБ и АСБГ сечением 70—240 мм².

Проволока и тросы. Для подвески и анкеровки контактных проводов применяют стальную оцинкованную проволоку (табл. 5.41) и стальные канаты (табл. 5.42), для изготовления струн — биметаллическую проволоку (табл. 5.43), сердцевина которой выполнена из стали, а оболочка из слоя меди.

Отсасывающие линии к тяговым подстанциям часто выполняются из уже использовавшихся железнодорожных рельсов Р-43, Р-50 и Р-65 (табл. 5.44).

Арматура тяговой сети. Для подвески и анкеровки контактных проводов и проводов питающих, усиливающих и отсасывающих линий используется типовая арматура, изготовляемая на специализированных заводах Министерства транспортного строительства, Министерства путей сообщения и треста «Электросетьизоляция» и применяемая на магистральном транспорте и воздушных линиях электропередачи. Изоляторы, применяемые в тяговых сетях промышленного транспорта, показаны на рис. 5.33, их основные технические характеристики приведены в табл. 5.45.

Стержневые изоляторы типа VKL60/7, изготавливаемые в ГДР, рассчитаны на сухоразрядное напряжение 140 кВ и мокроразрядное 110 кВ (эти значения соответствуют горизонтальному положению изолятора, а при вертикальном положении напряжение равно 100 кВ).

Линейное оборудование. Для деления контактной сети на изолированные участки применяют секционные изоляторы. Для включения и отключения участков контактной сети и подключения питающих линий при постоянном токе применяют секционный разъединитель РСУ-3000/3,3; при переменном токе напряжением 10 кВ — разъединитель типа РЛНД-10 или РЛНД-35/600. Разъединители могут иметь местное и дистанционное управление. Дистанционное управление разъедините-

медных контактных проводов

Масса 1 км провода, кг	Разрушающая нагрузка, кН	Строительная длина, м	Электрическое сопротивление 1 км при 20 °С, Ом	Коэффициент температурного удлинения	Модуль упругости E, ГПа	Длительно допустимая электрическая нагрузка, А
755	30,6	1400—2000	0,211	$17 \cdot 10^{-6}$	127,5	550
890	35	1400—1800	0,179	$17 \cdot 10^{-6}$	127,5	600
1335	52	1400—1600	0,119	$17 \cdot 10^{-6}$	127,5	750

Таблица 5.38. **Основные данные многопроволочных проводов (ГОСТ 839—90Е*)**

Марка провода	Номинальное сечение, мм²	Диаметр провода, мм	Электрическое сопротивление 1 км провода при 20 °С, Ом	Разрушающая нагрузка, кН	Масса 1 км провода, кг	Строительная длина, м
М50	48,5	8,9	0,39	17,51	439	2000
М70	68,3	10,7	0,23	29,27	618	1500
М95	95,2	12,5	0,2	39,09	839	1200
М120	117	14	0,154	43,62	1060	1000

Таблица 5.39. **Основные данные неизолированных гибких медных проводов**

Марка	Число и диаметр проволоки, мм	Диаметр провода, мм	Электрическое сопротивление 1 км провода при 20 °С, Ом	Масса 1 км провода, кг	Строительная длина, м
МГ16	49×0,64	5,8	1,26	145	2000
МГ25	98×0,58	7,7	0,77	238	2000
МГ35	133×0,58	8,8	0,55	323	1000
МГ50	133×0,68	10,2	0,4	444	1000
МГ70	189×0,68	12,6	0,281	631	1000
МГ95	259×0,68	14,3	0,205	864	500
МГ120	259×0,76	16	0,164	1080	500

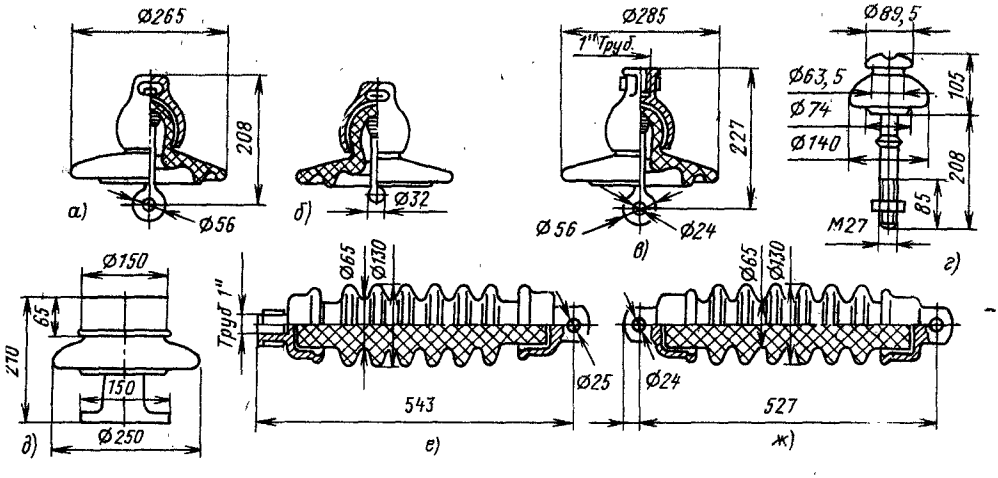


Рис. 5.33. Изоляторы тяговой сети

Таблица 5.40. **Значения допустимого длительного тока в проводах тяговой сети**

Провод	Допустимая нагрузка, А	Допустимая плотность тока, А/мм²
Медный контактный		
МФ150	750	5,0
МФ100 (МФО100)	600	6,0
МФ85	550	6,47
Многопроволочный медный		
М120	700	5,83
М95	600	6,31
М70	480	6,85
Алюминиевый многопроволочный		
А185	600	3,24
А150	500	3,33

Таблица 5.41. **Характеристики стальной проволоки**

Диаметр, мм	Площадь сечения, мм²	Разрушающая нагрузка, кН	Допустимая нагрузка, кН	Масса 1 км проволоки, кг
5	12,6	12,6	3,8	100
5	19,6	19,6	5	155
6	28,3	28,3	8,5	224

Таблица 5.42. **Основные характеристики стальных канатов** (ГОСТ 3062—80*)

Диаметр каната, мм	Диаметр центральной проволоки, мм, число проволок в слоях и их диаметр, мм	Площадь сечения, мм²	Разрушающая нагрузка, кН	Масса 1 м, кг
6,8	2,4+6×2,2	27,33	40,8	0,238
7,4	2,6+6×2,4	32,45	40,8	0,2826
8	2,8+6×2,6	38,01	47,95	0,3305
8,6	3+6×2,80	44,01	55,5	0,3821
9,2	3,2+6×3,2	50,45	63,65	0,4385

Таблица 5.43. **Основные характеристики сталемедной проволоки БСМ1 и БСМ2** (ГОСТ 3822—79*)

Диаметр проволоки, мм	Толщина медного слоя, мм	Масса 1 км, кг	Допускаемое число перегибов на 180°
2,2	0,11/0,08	31,7	9
2,5	0,12/0,09	40,9	8
2,8	0,14/0,1	54,5	8
3	0,15/0,11	58	8
4	0,21/0,14	105	8
6	0,23/0,2	236	6

Примечания: 1. В числителе — для БСМ1, в знаменателе — для БСМ2. 2. Допускаемое число скручиваний на 360° без излома и расслоения не более семи.

лями применяется при электрификации межцеховых путей металлургических комбинатов, на больших железнодорожных станциях открытых горных разработок и на отходящих линиях тяговых подстанций и распределительных постов карьеров. Дистанционными исполнительными органами служат моторные приводы типа УМП с пультами управления ПУУ-ПБ, работающие на напряжении 220 В. При местном управлении разъединителями постоянного тока применяются ручные приводы ПР-1. При переменном токе для разъединителей РЛНД применяются ручные приводы ПРН-110.

Для защиты оборудования и изоляции от перенапряжений в тяговой сети постоянного тока применяют роговые разрядники с двумя искровыми промежутками и трубчатые фибробакелитовые — в сетях переменного тока.

Стыковые рельсовые соединения выполняют из провода марки МГ сечением 95 мм². Помимо стыковых соединений также устанавливают междурельсовые и междупутные соединения, выполняемые из круглой стали диаметром 17,5 мм или полосовой стали 60×4 мм.

Таблица 5.44. **Основные технические данные железнодорожных рельсов**

Тип рельсов	Высота, мм				Ширина, мм			Площадь сечения, см²	Масса 1 м рельсов, кг
	головки	шейки	подошвы	общая	головки	шейки	подошвы		
Р-43	42	81	27	140	70	14,5	114	57	44,65
Р-50	42	83	27	152	70	15,5	132	65,8	51,63
Р-65	45	105	30	180	75	18	150	82,92	64,64

Таблица 5.45. **Основные технические данные изоляторов**

Изолятор	Тип, ГОСТ или чертеж	Сила, кН, нормированная разрушающая, не менее			Напряжение, кВ, не менее		Масса, кг, не более	Эскиз на рис. 5.33
		электромеханическая	механическая		пробивное в изоляционной среде с удельным сопротивлением 10^6—10^8 Ом·м	частота 50 Гц, выдерживает под дождем		
			при растяжении	при изгибе				
Фарфоровый линейный подвесной тарельчатый (с серьгой)	ПТФ70, ГОСТ 12670—88	70	—	—	130	40	5,3	*а*
Фарфоровый линейный подвесной тарельчатый (с пестиком)	ПФ70-В, ГОСТ 6490—83* Е	70	—	—	130	32	5,0	*б*
Стеклянный линейный подвесной тарельчатый (с пестиком)	ПС70-Б, ГОСТ 6490—83* Е	70	70	—	130	38	4,1	*б*
Фарфоровый линейный фиксаторный тарельчатый	ФТФ40, ГОСТ 12670—88	40	20*	2	130	40	5,25	*в*
Фарфоровый линейный штыревой высоковольтный	ШФ10А ГОСТ 1232—82* Е	—	—	13,73	100	30	1,4	*г*
Фарфоровый опорный высоковольтный	ОНШ-10-2000, ГОСТ 1232—82* Е	—	—	20	50	34	—	*д*
Фарфоровый фиксаторный стержневой	VKL 60/7, чертеж № 48680	—	80	1**/2,8	—	—	7,8	*е*
Фарфоровый секционный стержневой	VKL 60/7, чертеж № 48680	—	80	1**/2,8	—	—	7,8	*ж*

* Значение механической силы при сжатии.

** В числителе указано значение разрушающей силы в плоскости, перпендикулярной плоскости ушка, в знаменателе — в плоскости ушка.

5.17. ЗАЩИТА ТЯГОВОЙ СЕТИ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

На тяговых сетях постоянного тока роговые разрядники устанавливают: на стационарных контактных сетях — на каждой преданкерной опоре или на опорах, расположенных не далее трех пролетов от анкерной опоры; на станциях и разъездах допускается защита одним роговым разрядником нескольких анкерных участков, находящихся в пределах каждого секционированного участка; на ограниченно передвижных контактных сетях с центральной подвеской на отвалах — на преданкерных или ближайших к ним опорах; на передвижных боковых и стационарных контактных сетях — на концевых опорах или в пунктах междуанкерных сопряжений и перехода с центральной контактной сети на боковую, при этом защита одним роговым разрядником анкерных участков боковой и центральной контактной сети не допускается, на концевых опорах (или ближайших к ним) выводов питающих линий у тяговых подстанций и распределительных постов и в месте присоединения к контактной сети, у искусственных сооружений, используемых для анкеровок контактной сети и питающих линий, при пересечении с газопроводами — на ближайших опорах контактной сети в пунктах пересечения.

На тяговой сети переменного тока разрядники устанавливают: в горловинах станций — не далее одного пролета от воздушных промежутков и линейных разъединителей со стороны перегона, на подходах к искусственным сооружениям с секционированием контактной сети и одностороним питанием — с обеих сторон сооружения, при этом со стороны перегона — не далее одного пролета от нейтральных вставок, отделяющих сеть сооружения от сети перегонов; в конце консольных участков стационарной и передвижной контактной сети, на питающих линиях — в местах присоединения к контактной сети (или разрядники на контактной сети установлены не далее одного пролета от этого места присоединения); при длине линии более 300 м, кроме того, разрядники устанавливаются на расстоянии 150—200 м от тяговой подстанции.

Не допускается установка разрядников на опорах, имеющих оттяжки. Роговые и трубчатые разрядники присоединяют к рельсам или к средним точкам путевых дроссель-трансформаторов двумя заземляющими спусками без искровых промежутков.

5.18. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОЙ СЕТИ

Заземляющие устройства электрифицированного промышленного транспорта предназначены для надежной работы максимальной токовой защиты и обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала при КЗ и в нормальных режимах. Для этого в тяговой сети необходимо предусматривать заземления: всех металлических опор контактной сети и металлических конструкций на железобетонных опорах; конструкций автоматических анкеровок и приводов секционных разъединителей, расположенных на железобетонных и деревянных опорах постоянной и передвижной контактной сети, а также все металлические конструкции (мостов, путепроводов, пешеходных мостиков, светофоров, крыш зданий, гидроколонок, опорных конструкций газопроводов и т. п.), находящиеся на расстоянии менее 5 м от контактной сети постоянного и переменного тока. Заземлению также подлежат все металлические сооружения, расположенные в зоне влияния контактной сети однофазного переменного тока, на которых может возникнуть опасное наведенное напряжение.

Для обеспечения нормальной работы защиты от токов КЗ должно соблюдаться условие

$$I_{\text{КЗ}\,min} \geqslant I_{\text{н}\,max} K_{\text{ч}} K_{\text{н}}, \qquad (5.123)$$

где $I_{\text{КЗ}\,min}$ — минимальный ток КЗ, А; $I_{\text{н}\,max}$ — максимально возможный тяговый ток, А; $K_{\text{ч}}$ — коэффициент чувствительности при максимальной токовой защите на тяговых линиях однофазного тока ($K_{\text{ч}}=1{,}5$); $K_{\text{н}}$ — коэффициент надежности ($K_{\text{н}}=1{,}2\pm1{,}5$). Исходя из условия (5.123) максимально допустимое значение входного сопротивления заземлителя определяется, Ом,

$$Z_{\text{вх.з}} \leqslant \frac{U_{\text{н}}}{K_{\text{ч}} K_{\text{н}} I_{\text{н}\,max}} - \sum_{i=1}^{n} Z_i, \qquad (5.124)$$

где $U_{\text{н}}$ — напряжение холостого хода на шинах тяговой подстанции, В; $\sum_{i=1}^{n} Z_i$ — сумма сопротивлений питающих линий $Z_{\text{л}}$, отсасывающей линии $Z_{\text{о}}$, тяговых трансформаторов подстанции и первичной сети и входного сопротивления тяговых рельсов в отсасывающем пункте.

Заземление опор постоянной и ограниченно передвижной контактной сети и других, находящихся вблизи железнодорожных путей сооружений могут выполняться как индивидуальными, так и групповыми заземляющими проводниками. Спуск к тяговым рельсам осуществляется стальным проводом ∅10 мм при переменном токе и ∅12 мм при постоянном токе. Присоединение заземляющих проводников к рельсам выполняется механическим способом без сварки.

Общая длина одной секции провода группового заземления не должна превышать на электрифицированных линиях переменного тока 400 м, постоянного тока 600 м. Расстояние от места присоединения группового заземления к рельсу (средней точке путевого дроссель-трансформатора) до крайней заземленной на групповой трос опоры не должно превышать 200 м на электрифицированных линиях переменного тока и 300 м постоянного тока. Групповой заземляющий провод на электрифицированных линиях постоянного тока выполняется из биметаллического троса сечением не менее 70 мм^2 или алюминиевого провода сечением не менее 120 мм^2. На линиях переменного тока групповой заземляющий провод выполняется из алюминиевого провода, который при токе до 500 А, протекающем в контактной сети, должен быть сечением не менее 70 мм^2, при токе 500—1000 А — сеченяем не менее 120 мм^2 и при токе свыше 1000 А — не менее 185 мм^2.

Заземляющие устройства передвижной контактной сети переменного тока на участках путей, не оборудованных автоблокировкой, выполняются групповым заземлителем из алюминиевого провода сечением не менее 70 мм^2, присоединяемым к тяговым рельсам не

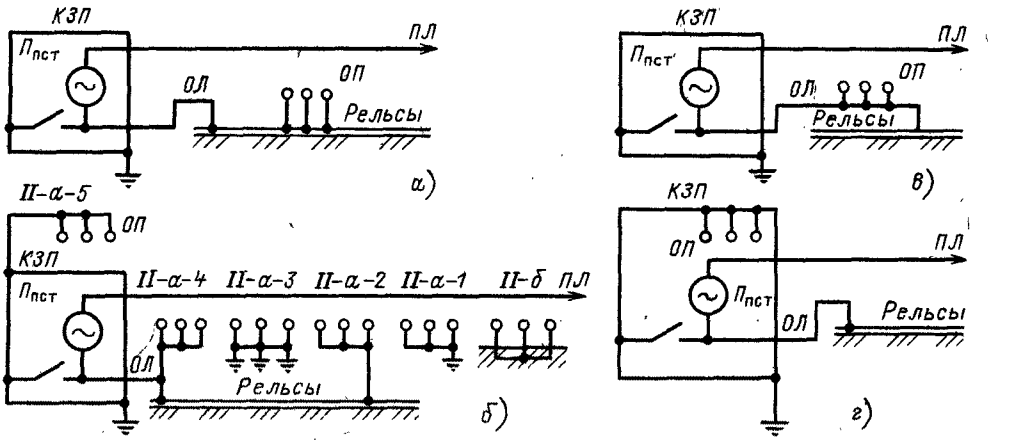


Рис. 5.34. Схемы заземления опор питающих линий:
а, б, в и г — соответственно I, II, III и IV группы опор; *ОЛ* — отсасывающая линия; *ПЛ* — питающая линия; $П_{пст}$ — тяговая подстанция; КЗП — контур заземления тяговой подстанции; *ОП* — заземляемые опоры

реже чем через каждые 200 м. Обязательное условие работы заземлителя — присоединение с обоих концов непрерывного провода группового заземления к тяговым рельсам, что обеспечивает протекание тока по проводу группового заземления.

На линиях постоянного тока при использовании опор, имеющих деревянные стойки, заземление не устраивается; при металлических стойках каждая опора заземляется на рельсы индивидуальным заземлителем.

Заземляющие устройства опор питающих линий. Опоры питающих линий по способу заземления разделяют на четыре группы (рис. 5.34):

I группа — опоры, расположенные вблизи тяговых рельсов, но не далее 10—15 м;

II группа — опоры, расположенные далее 15 м от тяговых рельсов и контурного заземлителя тяговой подстанции;

III группа — опоры, расположенные на расстоянии до 15 м от отсасывающей линии;

IV — группа — опоры, расположенные на территории тяговой подстанции.

Опоры I, III и IV групп заземляют соответственно на тяговые рельсы (непосредственно или к нулевым точкам дроссель-трансформатора), на провода отсасывающих линий, на контурный заземлитель тяговой подстанции как индивидуальным, так и групповым заземлителем. Для опор II группы применяют непрерывные групповые заземлители (воздушные или углубленные в землю), присоединяемые к тяговым рельсам, к заземляющим контурам, укладываемым у каждой опоры. При постоянном токе воздушные групповые заземлители присоединяют к тяговым рельсам, к отсасывающей линии или к специальным заземлителям; опоры и конструкции присоединяют к проводу группового заземления через искровые промежутки; углубленные в земле групповые заземлители или заземляющие контуры у опор при постоянном токе не применяют.

5.19. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЯГОВОЙ СЕТИ

Расчетные климатические условия и расчетные нагрузки контактной сети на провода принимаются в соответствии с данными, приведенными в настоящем справочнике.

Механический расчет проводов. При простой компенсированной подвеске натяжение в контактном проводе остается примерно постоянным. Максимально допустимые его значения приведены в табл. 5.46 и 5.47.

Определение натяжений в контактной сети при простой подвеске с сезонной регулировкой в проводах усиливающих, питающих и отсасывающих линий производится по формуле

$$\sigma_р - \frac{l^2\gamma_р E}{24\sigma_р^2} =$$

$$= \sigma_{max} - \frac{l^2\gamma_{max}E}{24\sigma_{max}} - \alpha E\,(\theta_р - \theta_{max}), \quad (5.125)$$

где σ_{max} и $\sigma_р$ — напряжения в низшей точке провода в начальном (исходном) и расчетном (искомом) состояниях, Па; γ_{max} и $\gamma_р$ — приведенные нагрузки, соответствующие напряже-

Таблица 5.46. **Тяжения контактных проводов на постоянных путях**

Марка провода	Максимальное тяжение при некомпенсированной подвеске, Н	Номинальное тяжение при компенсированной подвеске, Н
МФ85	10 500	8500
МФ100	12 000	10 000
МФ120	15 000	12 000
МФ150	17 500	15 000
БрФ100	14 000	13 000

Таблица 5.47. **Тяжения контактных проводов боковой контактной сети**

Марка провода	Максимальное тяжение, Н
МФ85	4000
МФ100	5000
МФ150	7500

ниям σ_{max} и $\sigma_р$, Н/м^3; θ_{max} и $\theta_р$ — температуры воздуха, соответствующие σ_{max} и $\sigma_р$, °С; l — длина пролета, м; α — температурный коэффициент линейного расширения провода, град$^{-1}$; E — модуль упругости провода, Па.

Если исходный или искомый режим принимается без ветра и гололеда, то $\gamma_{max}=\gamma_1$ — приведенной нагрузке от собственного веса провода. При ветре без гололеда $\gamma_{max}=\gamma_6$ — результирующей нагрузке от действия ветра на провода без гололеда, а при ветре с гололедом $\gamma_{max}=\gamma_7$ — результирующей нагрузке при ветре и гололеде.

Максимально допустимое напряжение для контактных проводов на постоянных путях при сезонной регулировке принимается $\sigma_{max}=130$ МПа, для передвижных путей $\sigma_{max}=50\div60$ МПа.

Длина пролета контактного провода по ветровому отклонению, м:

на прямых участках пути

$$l_м=\sqrt{\frac{2H}{P_6}\left(b_м+\sqrt{b_м^2-b_1^2}\right)}; \quad (5.126)$$

на кривых участках пути

$$l_м=\sqrt{\frac{2H}{P_6+\frac{H}{R}}(b_м+b_2)}, \quad (5.127)$$

где H — тяжение провода, Н (табл. 5.46); $P_6=\gamma_6 q$ — нагрузка на контактные провода при максимальной скорости ветра, Н; $b_м$ — значение допустимого отклонения контактного провода от оси пути, м; b_1 — значение зигзага, м; b_2 — значение выноса контактного провода на кривой, м; R — радиус кривой, м;

$$b_м=\frac{P_6 l^2}{8H}+\frac{2b_1^2 H}{P_6 l^2}.$$

Стрела провода воздушных линий при одинаковой высоте подвеса на опорах, т. е. при $h=0$, а также при разности высот подвеса, не превышающей 15 % длины пролета, м,

$$f_6=\frac{l^2\gamma_р}{8\sigma_р}. \quad (5.128)$$

Длина провода, подвешенного в пролете l, со стрелой провеса $f_р$, м,

$$L=l+\frac{8}{3}\frac{f_р^2}{l}, \quad (5.129)$$

где $f_р$ — стрела провеса провода в рассматриваемом режиме, м.

Напряжение в точке его закрепления на опорах, Па,

$$\sigma_A=\sigma_0+\gamma_р l_р, \quad (5.130)$$

где σ_0 — напряжение в низшей точке провода, Па; $\gamma_р$ и $f_р$ — приведенная нагрузка, Н/м^3, и стрела провеса провода, м, в расчетном режиме.

Если анкерный участок линии состоит из пролетов различной длины, то расчетная длина пролета принимается равной эквивалентному пролету, м,

$$l_{эк}=\sqrt{\frac{\Sigma l^3}{\Sigma l}}. \quad (5.131)$$

Длина критического пролета, при котором натяжение будет иметь одинаковое максимальное значение как при режиме гололеда, так и при максимальной температуре, м,

$$l_{кр}=\sigma_р\sqrt{\frac{24\alpha(t_{гол}+t_{min})}{\gamma_7^2+\gamma_1^2}}, \quad (5.132)$$

где $t_{гол}$ и t_{min} — соответственно температура при гололеде и минимальной температуре, °С; γ_1 и γ_7 — соответствующие приведенные нагрузки на провода, Н/м^3.

При спусках питающих линий по борту карьера (рис. 5.35), при разности высот подвеса провода $h>0{,}15l$ напряжение в материале провода определяется исходя из принятого максимально допустимого напряжения в точке закрепления провода на опоре. Для провода марки А оно составляет 105 % допустимого. Напряжение в низшей точке провода о опре-

деляется из уравнения, МПа,

$$\sigma_o = \frac{\left(\sigma_{max} - \frac{\gamma_{max} h}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max} - \gamma_{max} h}{2}\right)^2 - \frac{\gamma_{max}^2 l^2}{2}\left(1 + \frac{h^2}{2l^2}\right)}}{2\left(1 + \frac{h^2}{2l^2}\right)}, \quad (5.133)$$

где γ_{max} — приведенная нагрузка, соответствующая σ_{max}, Н/м³; h — разность высот подвеса провода на опорах пролета, м.

Максимально допустимые механические напряжения σ_{max} в проводе марки А при наибольшей нагрузке или при низшей температуре $\sigma_{max} = 72$ МПа, при среднегодовой температуре $\sigma_э = 48$ МПа.

Напряжение в проводе при расчетном режиме

$$\sigma_p - \frac{l^2 \gamma_p^2 E \cos^2 \varphi}{24\sigma_p^2} = \sigma_o - \frac{l^2 \gamma_{max}^2 E \cos^2 \varphi}{24\sigma_o^2} - \alpha E (\theta_p - \theta_o), \quad (5.134)$$

где $\cos^2 \varphi = \frac{l^2}{l^2 + h^2}$.

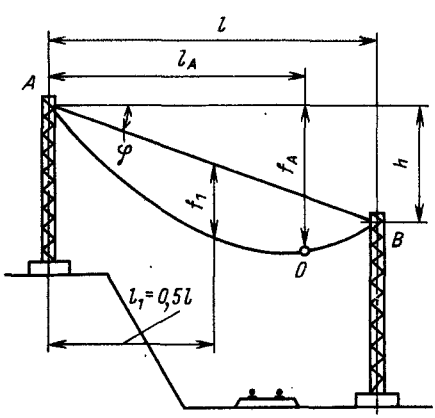


Рис. 5.35. Схема пролета питающей линии при спуске в карьер

Расстояние от наиболее высокой точки подвеса до ординаты низшей точки провода, м,

$$l_A = \frac{l}{2} - \frac{\sigma_p h}{\gamma_p l}. \quad (5.135)$$

Стрела провеса, соответствующая низшей точке провеса, м,

$$f_A = \frac{l_A^2 \gamma_p}{2\sigma_p}. \quad (5.136)$$

Стрела провеса в середине пролета, м,

$$f_1 = \frac{l_1^2 \gamma_p}{8\sigma_p}. \quad (5.137)$$

Расчеты по выбору опор тяговой сети. Требуемый тип опор определяется нагрузками, действующими на опору в различных сочетаниях вариантов подвески проводов тяговой сети. Силы действуют в вертикальной и горизонтальной плоскостях. К силам, действующим в горизонтальной плоскости, относятся: усилия в тросе; от излома контактного провода по кривой; от зигзага; от давления ветра на провода и проекцию сечения опоры.

Силы, действующие в вертикальной плоскости, возникают от подвески контактного провода на консоли, проводов питающих и усиливающих линий. Они складываются из массы проводов, консоли, кронштейнов, арматуры и гололеда на них.

Для выбора требуемого типоразмера опоры необходимо определить:

свободную высоту опоры от уровня головки рельсов или от уровня поверхности земли на месте установки опор;

суммарную силу, приведенную к вершине опоры от фактически действующих на опору сил;

требуемый нормативный момент M для выбранного типа опоры.

Минимальная требуемая свободная высота, м, опоры определяется:

для простой консольной компенсированной подвески (рис. 5.36, *а*)

$$Б = H_к + h + h_{пmin} + (0{,}1 \div 0{,}2);$$

для гибкой поперечной простой подвески (рис. 5.36, *б*)

$$Б_{ст} = H_{ст} + h + h_1 + h_2 + h_3 + (0{,}1 \div 0{,}2),$$

где $H_к$ — высота подвески контактного провода на опоре на перегонах, м; $H_{ст}$ — то же на

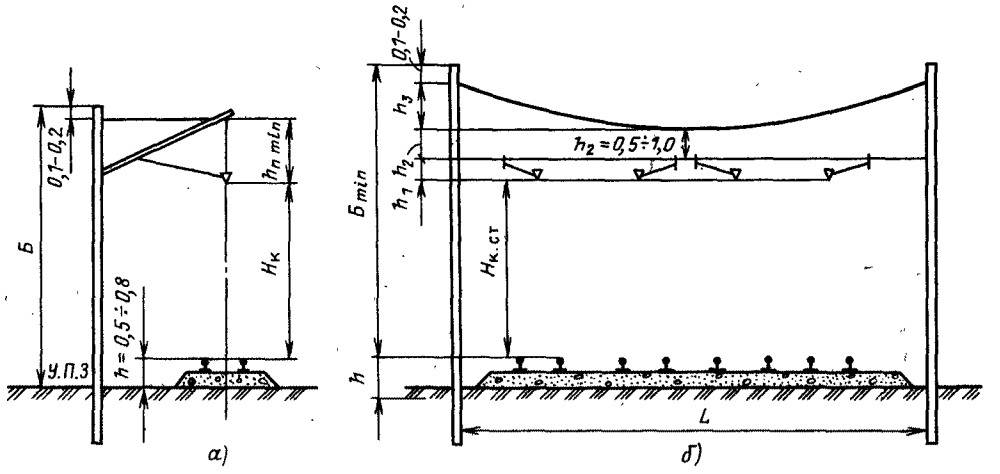


Рис. 5.36. Расчетная схема определения свободной высоты опоры контактной сети для подвески: *а* — консольной; *б* — гибкой поперечины

станциях, м; h — высота железобетонного полотна от уровня поверхности земли до уровня головки рельсов, м (обычно равная 0,5—0,8 м); $h_{п\,min}$ — расстояние от контактного провода до консоли в узле подвески, м; h_1 — расстояние от контактного провода до фиксирующего троса (принимается 0,4 м); h_2 — расстояние в середине пролета гибкой поперечной подвески между фиксирующим и несущим поперечными тросами, равное 1 м (минимальное допустимое 0,5 м); h_3 — стрела провеса несущих тросов гибкой поперечной подвески, равная $0{,}1L_п$ ($L_п$ — расстояние между опорами поперечной подвески, м), в исключительных случаях допускается $0{,}08L_п$; 0,1—0,2 — минимальное допустимое от точки крепления последней конструкции подвески до вершины опоры, м.

По рабочим чертежам или по техническим характеристикам, приведенным в таблицах, выбирают большую конструктивную высоту опоры $Б_{тип}$ требуемого типа, при этом $Б_{тип} \geqslant Б_{min}$.

Сила P, Н, приведенная к вершине опоры от действующих на нее нагрузок, определяется по формуле

$$P = \frac{M_{из}}{Б_{тип}} K_н, \qquad (5.138)$$

где $M_{из}$ — изгибающий момент сил, действующих на опору, Н·м; $Б_{тип}$ — свободная высота соответствующего типоразмера опоры, м; $K_н = 1{,}2$ — коэффициент, учитывающий неучтенные нагрузки.

По рассчитанному усилию P подбирают необходимый тип опоры.

5.20. РАЗБИВКА ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ПЛАНАХ СТАНЦИЙ И ПЕРЕГОНОВ

Последовательность разбивки опор контактной сети на постоянных путях: разбивка опор на станциях и раздельных пунктах (разъездах, постах и т. д.); разбивка опор на перегонах; определение длин анкерных участков; расстановка линейного оборудования в соответствии со схемой питания и секционирования; разбивка опор питающих и отсасывающих линий; выбор типов опор.

На планах указывают все необходимые данные для сооружения контактной сети и приводят спецификации анкерных участков, длины питающих, отсасывающих и усиливающих проводов, места расположения питающих пунктов и пунктов секционирования, сопряжений анкерных участков и разрядников, габаритных ворот для автотранспорта и других сооружений. Кроме того, на планах приводят таблицы ведомостей объемов строительных и монтажных работ. Данные о типе опор, привязках опор вдоль трассы, номерах конструктивных чертежей подвесок контактной сети приводят в таблице журнала разбивки опор контактной сети.

Планы разбивки опор контактной сети составляют отдельно для каждой станции, разъезда и перегона в масштабах, приведенных в табл. 5.48.

Разбивка опор на станциях начинается с фиксации контактных проводов над стрелочными переводами (табл. 5.49) и размещения опор в горловинах станций.

Таблица 5.48. **Рекомендуемые масштабы планов путей**

План контактной сети	Масштаб	
	нормальный	допустимый
Перегона	1:1000	1:2000
Станций и разъездов	1:500	1:1000
Промплощадки внутрицехового транспорта	1:500	—
Трассы самостоятельных питающих и отсасывающих линий	1:1000	1:2000
Трассы самостоятельных и отсасывающих линий для металлургических заводов	1:500	—

Таблица 5.49. **Место установки фиксирующей опоры на стрелочном переводе**

Марка стрелочного перевода	Расстояние от остряка крестовины до оси установки опоры, м	Расстояние от центра стрелочного перевода до оси установки опоры, м
1/7	6,5	4,2
1/8	7,25	5
1/9	8,5	5,3
1/11	10,25	6,5

Таблица 5.50. **Длины продольных пролетов при центральной подвеске контактной сети**

Радиус кривой, м	Длина пролета, м, при подвеске		
	простой с автоматической регулировкой натяжения	простой эластичной с автоматической регулировкой натяжения	с сезонной регулировкой натяжения
На прямом участке	45	53	35
1000	45	53	35
800	45	52	35
600	45	48	35
500	43	45	35
400	40	42	35
300	35	38	35
250	32	35	32
200	30	32	30
150	25	28	26
125*	24	24	24
100*	20	20	20

* Пролеты уменьшены в целях снижения горизонтального усилия на зажим до 2370 Н.

Таблица 5.51. **Габариты установки опор контактной сети**

Тип подвески контактного провода	Место установки опор	Габарит установки опор относительно железнодорожного пути, мм		
		максимальный	минимальный	при установке опоры за кюветом
Центральная подвеска	На прямой и снаружи кривой:			
	при реконструкции электрифицированных путей:			
	на станциях	3100	2750	5000—5500
	на перегонах	3100	2450	
	для вновь вводимых в эксплуатацию путей	3100	3100	
	Внутри кривой	3400	3400	
Боковая подвеска	Определяется типом электровоза	4200 *	3500	

* Для тяговых агрегатов допускается габарит 5000 мм (см. табл. 5.27).

Длины пролетов контактной сети определяют в соответствии с данными табл. 5.50.

Отклонения от расчетного значения пролета при определении мест установки опор допускаются следующие:

На прямых участках пути и кривых радиусом 800 м и более, м . . . 2 ÷ —3
На кривых участках радиусом 300—800 м, м . . . . . 1 ÷ —2
На кривых участках радиусом до 300 м, м . . . . . Не более —2

Таблица 5.52. **Длины продольных пролетов боковой контактной сети**

Радиус кривой, м	Пролет, м
На прямом участке	15—18
500	14
400	12
300	11
200	10
150	8
100	7
80	5

Габариты установки опор контактной сети приведены в табл. 5.51.

Определение высоты подвески контактных проводов производится по табл. 5.25, питающих и отсасывающих линий — по табл. 5.23.

Длина анкерного пролета на прямых участках при простой компенсированной подвеске при использовании средних анкеровок не должна превышать 1400 м. На кривых участках длина анкерных участков сокращается. Изменение направления контактных проводов при их анкеровках на опоры или при изменении высоты подвески проводов на промышленных площадках допускается на перегонах под углом не более 10° и на станционных путях не более 15°. На передвижных путях длина анкерного пролета сокращается до 500 м.

Разбивку опор и составление планов контактной сети передвижных путей не делают; к проекту прикладывают таблицу значений продольных пролетов (табл. 5.52) и соответствующие конструктивные чертежи.

В отдельных случаях для участков карьера со сложными планами передвижных путей выполняют принципиальные схемы разбивки опор с указанием пролетов и типов установленных опорных конструкций.

5.21. ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ БЛУЖДАЮЩИМИ ТОКАМИ

Металлические подземные сооружения, расположенные вблизи электрифицированных на постоянном токе железнодорожных путей, защищают от коррозии блуждающими токами.

Защита подземных сооружений (коммуникаций) от коррозии блуждающими токами выполняется за счет: сокращения длины подземных сооружений, что ограничивает токи утечки из железнодорожных рельсов в землю и проникновение блуждающих токов в подземные сооружения, и применения активной электрической защиты.

Ограничение токов утечки направлено на уменьшение электрического сопротивления рельсовой цепи и увеличение переходного сопротивления рельс — земля. Ограничение утечек тягового тока с рельсов в землю достигается благодаря уменьшению падения напряжения в рельсовой цепи, повышению сопротивления в цепи утечки тяговых токов, уменьшению числа электрических соединений железнодорожных рельсов с металлическими сооружениями.

Для уменьшения падения напряжения в рельсовой цепи устанавливают стыковые рельсовые, междурельсовые и междупутные соединения; производят расчет рельсовой сети с определением числа и местоположения отсасывающих пунктов.

Повышение сопротивления в цепи утечки тяговых токов достигается за счет применения на постоянных путях щебеночного (или равноценного ему) балласта, укладки шпал, пропитанных электроизолирующим составом (антисептиком), прочистки просвета между подошвой рельса и балластом, высота которого

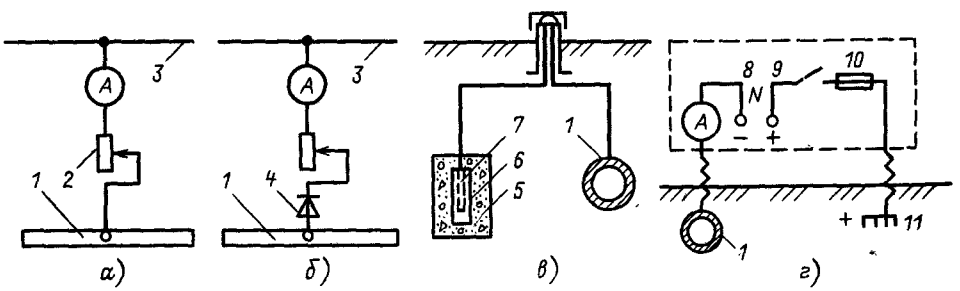


Рис. 5.37. Способы защиты подземных сооружений:
а — электрический прямой дренаж; *б* — электрический поляризованный дренаж; *в* — защита подземного сооружения с помощью протектора; *г* — катодная защита; *1* — подземное сооружение; *2* — регулируемое сопротивление; *3* — электрифицированные железнодорожные пути; *4* — полупроводниковый выпрямитель; *5* — активатор; *6* — протектор; *7* — стержень протектора; *8* — источник постоянного тока; *9* — рубильник; *10* — предохранитель; *11* — анодное заземление

должна быть не менее 30 мм, изоляции от земли отсасывающих линий и заземляющих проводников, идущих к опорам контактной сети.

Ограничение проникновения блуждающих токов в подземные коммуникации заключается в устройстве специальных защитных изоляционных покрытий на поверхности подземных сооружений.

Активной электрической защитой подземных коммуникаций является установка электрических дренажей, а также катодной и протекторной защит (рис. 5.37).

Мероприятия первой и второй групп осуществляются в период электрификации транспорта и строительства подземных сооружений, а третьей группы принимаются на основании исследований блуждающих токов на действующем подземном сооружении при работающем электрифицированном железнодорожном транспорте.

Для контроля и предотвращения повреждений ответственных инженерных сооружений (трубопроводы большого сечения, кабели высокого напряжения, газопроводы и т. д.) необходимо периодически осматривать состояние их поверхности и измерять разность потенциалов между сооружениями и землей.

5.22. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОСТЫ

Распределительные посты (РП) тяговой сети карьеров представляют собой электротехнические установки, оборудованные сборными шинами, автоматическими выключателями и разъединителями, проектируются постоянного и переменного тока, выполняются с использованием специальных комплектных камер наружной установки и с размещением электрооборудования в отдельном помещении.

Питание РП производится от шин тяговой подстанции. Между тяговой подстанцией и распределительным постом следует предусматривать одну питающую линию при числе линий между постом и секциями контактной сети до четырех, и две питающие линии при числе линий между постом секционирования более четырех.

Схема главных цепей РП составляется на основании схем питания и секционирования контактной сети и принципиальных схем камер.

Распределительное устройство РП постоянного тока имеет две сборные положительные шины — одну рабочую и одну резервную (рис. 5.38). Шины соединяют запасным авто-

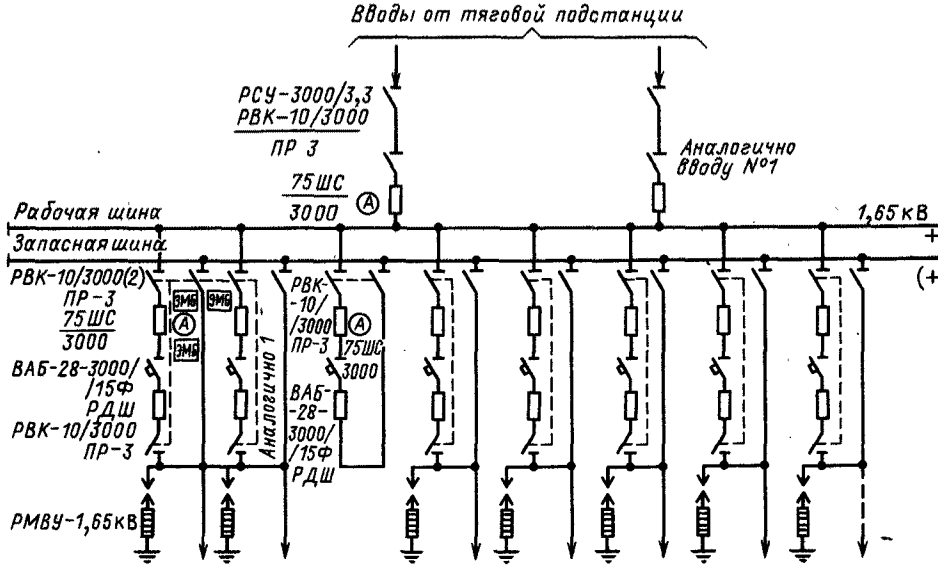


Рис. 5.38. Схема главных цепей распределительного поста постоянного тока

матическим выключателем. Переносные распределительные посты комплектуются из необходимого количества камер наружной установки отходящих линий типа КНФ-1,65/3,3, одной вводной камеры типа КНВ-1,65/3,3, одной камеры запасного автомата НКЗА-1,65/3,3 и одной камеры собственных нужд типа КНС-1,65/3,3.

Распределительные посты переменного однофазного тока 10 кВ проектируются для каждой фазы отдельно, имеют одинарную систему шин. Из трех фаз в комплектных камерах работает только одна, от которой питается район расположения РП. Для сооружения РП принимаются ячейки КРУН 10 кВ. Для питания собственных нужд РП (освещение, отопление и сигнализация) предусматривают два независимых воздушных или кабельных ввода напряжением 380/220 В от ближайшего источника питания. При отсутствии последних для питания собственных нужд могут быть использованы комплектные трансформаторные подстанции 6/0, 4/0,23 кВ наружной установки.

При размещении камер распределительного поста постоянного тока на открытой площадке для обслуживающего персонала вокруг камер предусматривается бетонированная или асфальтированная дорожка шириной не менее 1 м.

В пункте установки камер производится планировка площадки с устройством песчано-щебеночной подушки. Камеры устанавливают на деревянные шпалы. Территория переносного поста ограждается забором высотой 2,4 м. Ограждение должно располагаться не ближе 1 м от фундаментов концевых опор питающих линий и не ближе 3 м от заземлительного контура.

Для заземления конструкции комплектных камер распределительного поста следует использовать самостоятельный контур заземления, рассчитанный по ПУЭ для больших токов замыкания на землю. При расположении распределительного поста на расстоянии 10—15 м от железнодорожных путей заземление производится на тяговые рельсы в двух пунктах через реле земляной защиты с помощью изолированных от корпусов камер проводников.

Комплектные камеры РП переменного тока располагают на специальной платформе из сборного железобетона.

Территория распределительного поста ограждается забором.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

МОЛНИЕЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ, ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

6.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Молниезащита — комплекс защитных устройств и мероприятий, предназначенных для обеспечения безопасности людей, предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от возможных взрывов, загораний и разрушений, возникающих при разрядах молнии.

Прямой удар молнии — непосредственный контакт канала молнии с объектом, сопровождающийся протеканием через него тока молнии.

Вторичные проявления молнии — наведение потенциалов на металлических элементах конструкций, оборудования, в незамкнутых металлических контурах, вызванное близкими разрядами молнии и создающее опасность искрения внутри защищаемого объекта.

Занос высокого потенциала — перенесение в защищаемое здание или сооружение по протяженным металлическим коммуникациям (подземным и наземным трубопроводам, эстакадам, кабелям) электрических потенциалов, возникающих при прямых и близких ударах молнии и создающих опасность искрения внутри защищаемого объекта.

Молниеотвод — устройство, воспринимающее удар молнии и отводящее ее ток в землю.

Молниеотвод состоит из опоры, молниеприемника, токоотвода и заземлителя. Наиболее распространенными типами молниеотводов являются: стержневой, тросовый и сетчатый.

Зона защиты молниеотвода — пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения. Принято различать в зависимости от степени надежности молниезащиты два типа зон: зона защиты типа А, обладающая высокой степенью надежности (99,5 % и выше), и зона защиты типа Б (95 % и выше).

Таблица 6.1. **Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты и необходимости ее выполнения** *

Здания и сооружения	Местоположение	Тип зоны защиты	Категория молниезащиты
Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов В-I и В-II, в которых при нормальной работе образуются взрывоопасные смеси	На всей территории СССР	Зона А	I
То же к зонам классов В-Iа, В-Iб и В-IIа, например помещения, в которых в аварийных случаях возможно образование взрывоопасных смесей	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	При ожидаемом количестве поражений молнией в год: $N \geqslant 1$ — зона А; $N \leqslant 1$ — зона Б	II
Наружные установки, создающие согласно ПУЭ зону класса В-I, например технологические установки и открытые склады, содержащие горючие газы или ЛВЖ, сливоналивные эстакады, очистные сооружения и т. д.	На всей территории СССР	Зона Б	II
Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов П-I, П-II и П-IIа, например помещения, в которых обращаются пожароопасные горючие жидкости, выделяются горючие пыль или волокна, обращаются твердые горючие вещества	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	Для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости при $0{,}1 < N \leqslant 2$ и для III—V степени огнестойкости при $0{,}02 < N \leqslant 2$ — зона Б, при $N > 2$ — зона А	III
Наружные установки и открытые склады, создающие согласно ПУЭ зону класса II—III, например открытые технологические установки и склады, в которых обращаются пожароопасные горючие жидкости и твердые горючие вещества	То же	При $0{,}1 < N \leqslant 2$ — зона Б; при $N > 2$ — зона А	III
Здания и сооружения III, IIIа, IIIб, IV, V огнестойкости, в которых отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	»	При $0{,}1 < N \leqslant 2$ — зона Б; при $N > 2$ — зона А	III
Здания из легких металлоконструкций с покрытием, имеющим сгораемый утеплитель (IVа степени огнестойкости), в которых отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	При $0{,}02 < N \leqslant 2$ — зона Б, при $N > 2$ — зона А	III
Здания вычислительных центров, в том числе расположенные в городской застройке	То же	Зона Б	II
Животноводческие и птицеводческие здания и сооружения III, IV и V степеней огнестойкости: для крупного рогатого скота и свиней на 100 голов и более, для овец на 500 голов и более, для птицы на 1000 голов и более, для лошадей на 40 голов и более	В местностях со средней продолжительностью гроз 40 ч в год и более	Зона Б	III

Продолжение табл. 6.1

Здания и сооружения	Местоположение	Тип зоны защиты	Категория молниезащиты
Дымовые трубы предприятий и котельных, башни, вышки разного назначения высотой 15 м и более	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	Зона Б	III
Жилые и общественные здания, возвышающиеся более чем на 25 м над средней высотой окружающих зданий в радиусе 400 м, а также отдельно стоящие здания высотой более 30 м, удаленные от других зданий более чем на 400 м	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	Зона Б	III
Отдельно стоящие жилые и общественные здания в сельской местности высотой более 30 м	То же	Зона Б	III
Общественные здания III—V степеней огнестойкости следующего назначения: детские дошкольные учреждения, школы и школы-интериаты, стационары лечебных учреждений, спальные корпуса и столовые учреждений здравоохранения и отдыха, культурно-просветительные и зрелищные учреждения, административные здания, вокзалы, гостиницы, мотели и кемпинги	»	Зона Б	III
Открытые зрелищные учреждения: зрительные залы открытых кинотеатров, трибуны открытых стадионов и т. п.	»	Зона Б	III
Здания и сооружения, являющиеся памятниками истории, архитектуры и культуры (скульптуры, обелиски и т. п.)	»	Зона Б	III

Импульсное сопротивление заземлителя — электрическое переходное сопротивление между электродами заземлителя и землей при протекании токов молнии, не поддающееся измерению общепринятыми методами. Импульсное сопротивление заземлителя $R_и$ можно определить замером сопротивления заземлителя при растекании тока промышленной частоты $R_\sim$ через импульсный коэффициент α.

6.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

По устройству молниезащиты производственные, жилые и общественные здания и сооружения классифицируются на три категории: I, II и III.

Классификация зданий и сооружений, подлежащих молниезащите, а также указание по определению типа зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов приведены в табл. 6.1.

Среднегодовая продолжительность гроз в часах в районе местонахождения сооружения на территории СССР определяется по карте (рис. 6.1) или на основании данных местной метеорологической станции.

Ожидаемое количество поражений молнией в год здания или сооружения, не оборудованного молниезащитой, определяется по формулам:

для сосредоточенных сооружений (дымовые трубы, вышки и башни)

$$N = 9\pi h^2 n \cdot 10^{-6}; \qquad (6.1)$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7{,}7h^2]\, n \cdot 10^{-6}, \qquad (6.2)$$

где h — наибольшая высота здания или сооружения, м; n — среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 поверхности земли в месте

Таблица 6.2. **Среднее число поражений молнией земной поверхности**

Среднегодовая продолжительность гроз в часах (согласно карте рис. 6.1)	Среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности
10—20	1
20—40	2
40—60	4
60—80	5,5
80—100	7
100 и более	8,5

расположения здания или сооружения (табл. 6.2); S — ширина здания, м; L — длина здания, м.

Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве S и L рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание в плане.

Пример расчета. Производственное здание текстильного предприятия с помещениями класса П-II по ПУЭ расположено в городе Сухуми, имеет ширину $S=25$ м, длину $L=100$ м, высоту $h=30$ м.

Необходимо определить ожидаемое количество поражений, категорию устройства молниезащиты и тип зоны защиты.

Решение. По карте (рис. 6.1) находим интенсивность грозовой деятельности, равную 80—100 ч.

По табл. 6.2 определяем среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности $n=7$.

Ожидаемое количество поражений здания молнией в год определяем по формуле (6.2):

$$N=[(25+6\cdot30)(100+6\cdot30)-7{,}7\cdot30^2]\cdot7\cdot10^{-6}=0{,}35.$$

По табл. 6.1 находим принадлежность здания по устройству молниезащиты к III категории и зону защиты типа Б.

6.3. МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ I КАТЕГОРИИ

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к I категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных проявлений молнии и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации.

В конструктивном отношении защита от прямых ударов молнии должна выполняться отдельно стоящими стержневыми (рис. 6.2) или тросовыми (рис. 6.3), а также изолированными молниеотводами (рис. 6.4), обеспечивающими зону защиты типа А. При этом должно быть обеспечено удаление элементов молниеотводов от защищаемого объекта и подземных металлических коммуникаций.

При наличии на зданиях или сооружениях прямых газоотводных или дыхательных труб для свободного отвода в атмосферу газов, паров или взвесей взрывоопасной концентрации в зону защиты молниеотводов должно входить пространство над обрезом труб, ограниченное полушарием радиусом 5 м.

Для газоотводных и дыхательных труб, оборудованных колпаками или «гусаками», в зону защиты молниеотводов должно входить пространство над обрезом труб, ограниченное цилиндром, имеющим следующие высоту H и радиус R:

$H=1$ м и $R=2$ м — для газов тяжелее воздуха при избыточном давлении внутри установки менее 0,005 МПа;

$H=2{,}5$ м и $R=5$ м — для газов тяжелее воздуха при избыточном давлении внутри установки от 0,005 до 0,025 МПа;

$H=2{,}5$ м и $R=5$ м — для газов легче воздуха при избыточном давлении внутри установки до 0,025 МПа;

$H=5$ м и $R=5$ м — при избыточном давлении внутри установки свыше 0,025 МПа.

Не требуется включать в зону защиты молниеотводов пространства над обрезом труб: при выбросе газов невзрывоопасной концентрации; при наличии азотного дыхания; при наличии постоянно горящих факелов и факелов, поджигаемых в момент выброса газов; для вытяжных вентиляционных шахт, предохранительных и аварийных клапанов, выброс газов взрывоопасной концентрации из которых осуществляется только в аварийных случаях.

Защита от вторичных проявлений молнии должна предусматривать мероприятия:

по присоединению корпусов всего оборудования, установленного в защищенном здании, к заземляющему устройству электроустановок или к железобетонному фундаменту здания;

по исключению незамкнутых протяженных металлических контуров путем наложения на протяженных металлических трубопроводах и других сооружениях в местах их взаимного сближения на расстоянии 10 см через каждые 20 м перемычек из стальной проволоки диаметром не менее 5 мм.

Защита от заноса высокого потенциала по подземным металлическим коммуникациям (трубопроводам, кабелям в наружных металлических оболочках или трубах) должна осу-

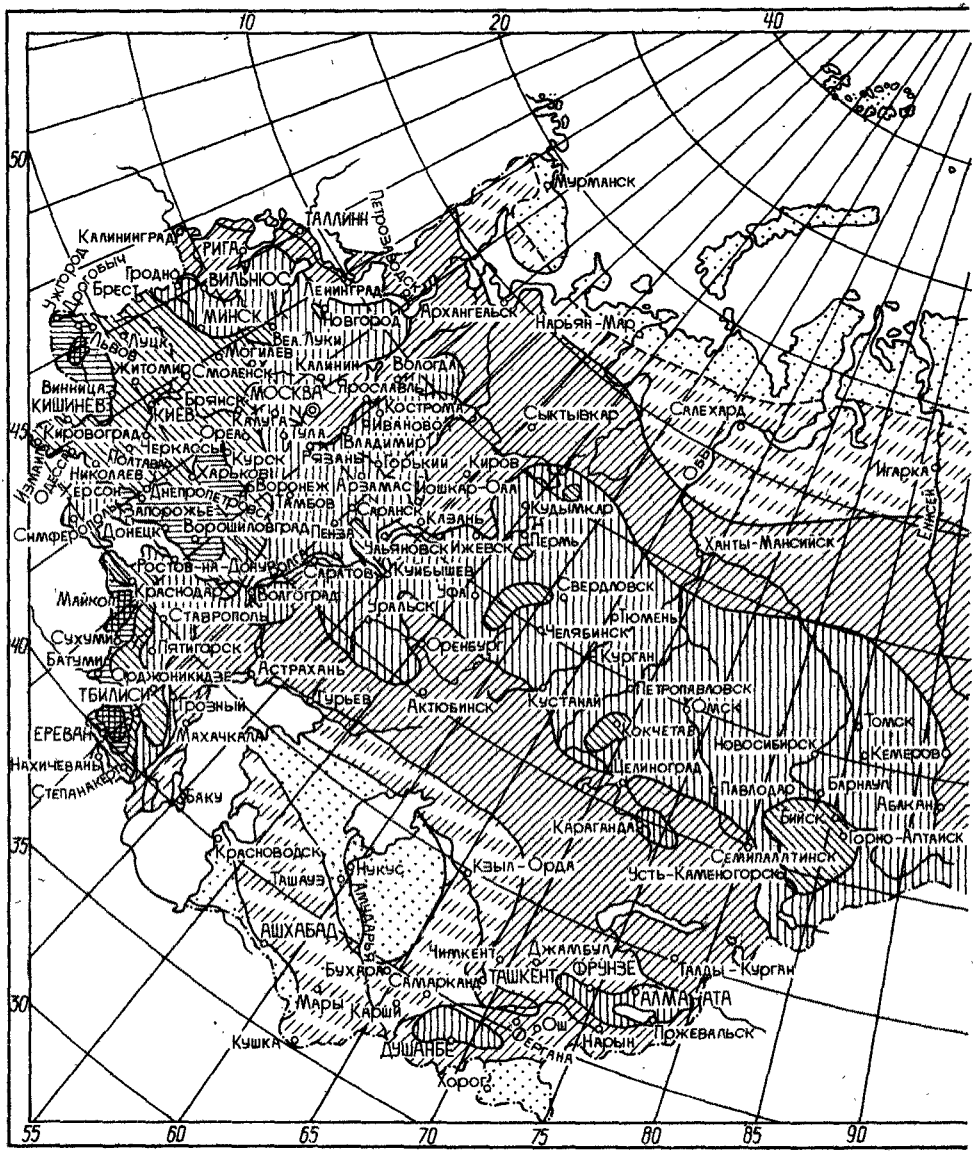


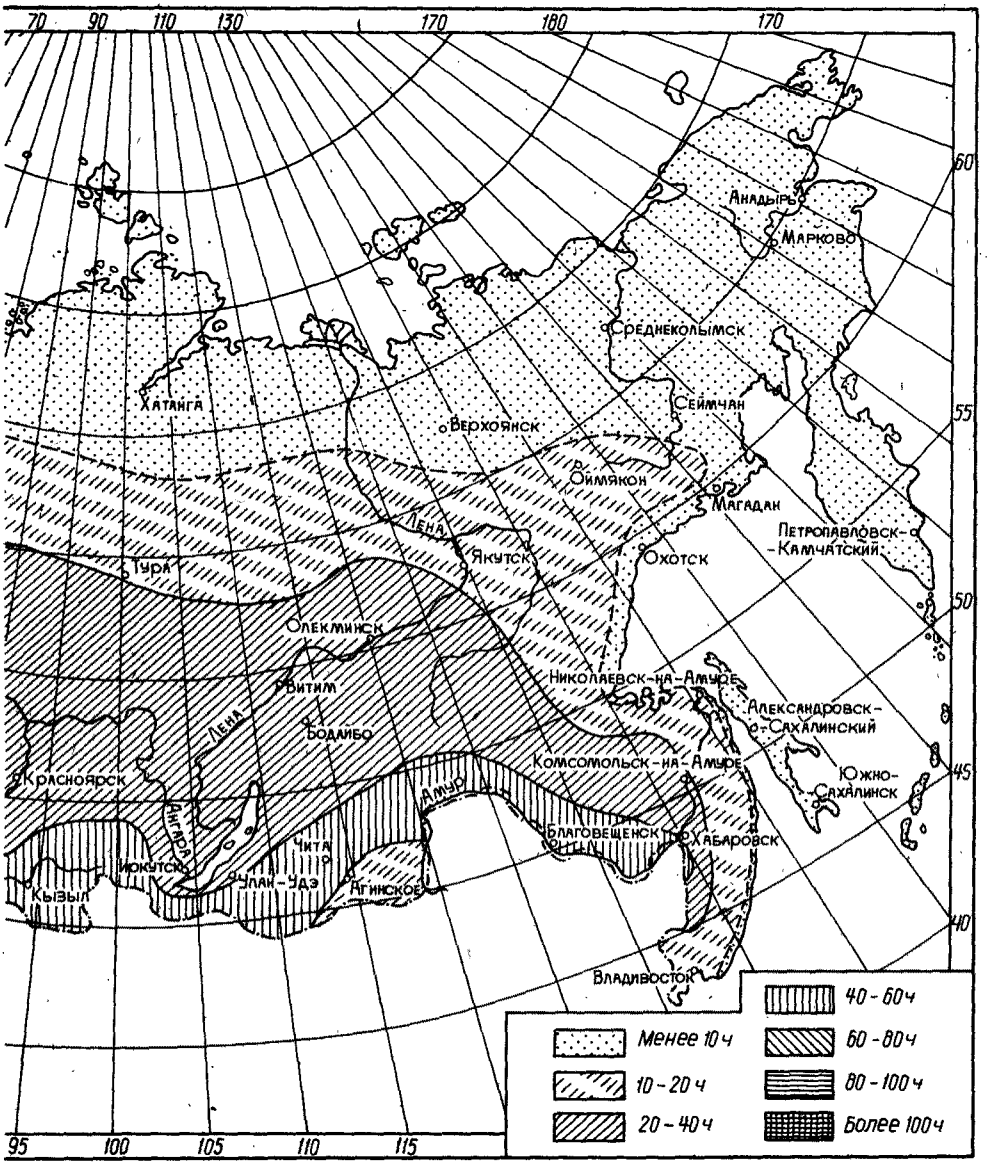
Рис. 6.1. Карта среднегодовой продолжительности гроз в грозо-часах на территории СССР

ществляться путем их присоединения на вводе в здание к заземляющему устройству электроустановок либо к железобетонному фундаменту.

Ввод в здания воздушных линий до 1 кВ, сетей телефона, радио, сигнализации должен осуществляться только кабелями длиной не менее 50 м с металлической броней или оболочкой либо проложенными в металлических трубах.

6.4. МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ II КАТЕГОРИИ

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты ко II категории, дол-



(названия городов приведены по состоянию на 1.01.1990 г.)

жны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных проявлений молнии и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации.

В конструктивном отношении защита от прямых ударов молнии выполняется отдельно стоящими или установленными на здании металлическими стержневыми или тросовыми молниеотводами, а также путем наложения молниеприемной сетки на кровлю или использования металлической кровли.

Молниеприемная сетка должна иметь ячейки площадью не более 36 м^2, например, с ячейками 6×6 м или 3×12 м, и уложена на кровлю непосредственно или под слой негорючих или трудносгораемых утеплителей и гид-

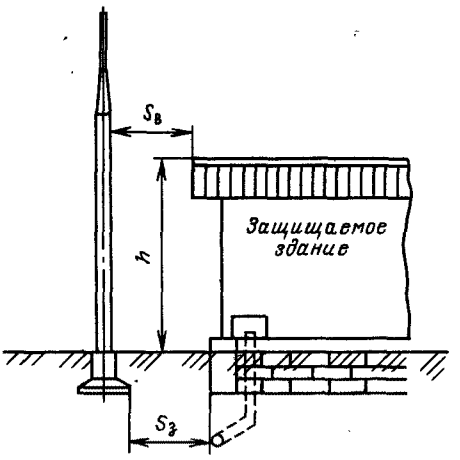


Рис. 6.2. Отдельно стоящий стержневой молниеотвод

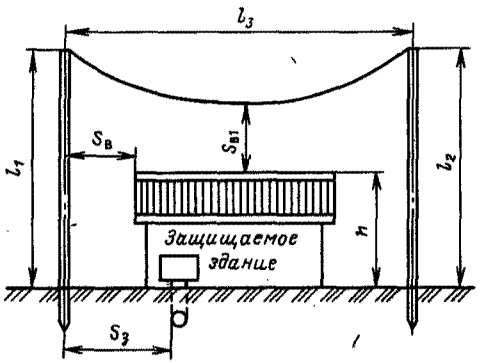


Рис. 6.3. Отдельно стоящий тросовый молниеотвод

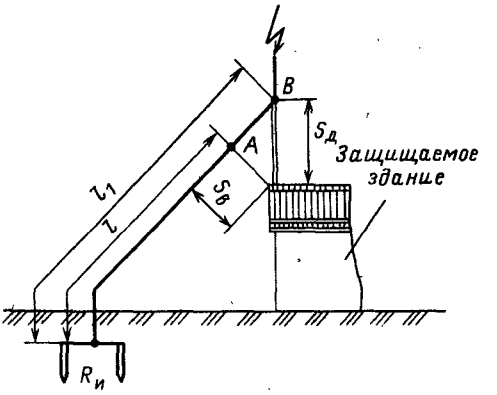


Рис. 6.4. Стержневой молниеотвод, изолированный от защищаемого объекта диэлектрической стойкой

роизоляции (керамзит, минеральная вата, рубероид и т. д.).

Молниеотводы должны иметь не менее двух самостоятельных токоотводов, присоединенных к заземляющему контуру или железобетонному фундаменту.

Токоотводы от металлической кровли или молниеприемной сетки должны быть проложены к заземлителям не реже чем через 25 м по периметру здания. При устройстве молниезащиты рекомендуется использовать в качестве токоотводов металлические конструкции зданий, колонны, фермы, рамы, лестницы, а также арматуру железобетонных конструкций.

На зданиях с покрытием по металлическим фермам материалами из несгораемых или трудносгораемых утеплителей и гидроизо-

Таблица 6.3. **Рекомендации по устройству молниезащиты наружных установок с взрывоопасными зонами класса В-Iг**

Наружные установки	Рекомендации по устройству		
	отдельно стоящих молниеотводов	молниеотвода на сооружении	заземления корпуса
Металлические установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, жидкости при толщине металла крыши:			
менее 4 мм	+	+	+
4 мм и более	—	—	+
Отдельные емкости объемом менее 200 м^3	—	—	+
Парки наземных резервуаров из металла, железобетона или синтетических материалов со сжиженными газами объемом более 8000 м^3	+	+	+
Парки подземных железобетонных резервуаров, содержащие мазут	+	—	+
Очистные сооружения с температурой вспышки продукта на 10 °С выше его рабочей температуры	+	+	+

ляции установка молниеприемников и наложение сетки не требуются. Рекомендуется объединять заземлители защиты от прямых ударов молнии с заземлителями защиты от электростатического электричества и защитного заземления электроустановок.

Наружные установки, содержащие горючие и сжиженные газы и легковоспламеняющиеся жидкости, должны быть защищены от прямых ударов молнии следующим образом: корпуса установок из железобетона и металла и отдельных металлических резервуаров при толщине металла крыши менее 4 мм должны быть оборудованы молниеотводами; металлические корпуса установок и резервуаров при толщине металла крыши 4 мм и более, а также отдельные резервуары объемом менее 200 м^3 независимо от толщины крыши достаточно присоединить к заземлению. Наружные установки класса В-Iг должны быть защищены от прямых ударов молнии согласно рекомендациям, данным в табл. 6.3.

Молниезащита газоотводных и дыхательных труб установок класса В-Iг и пространства над ними выполняется по аналогии с установками I категории.

Для защиты зданий и сооружений от вторичных воздействий молнии должны быть предусмотрены следующие мероприятия:

металлические корпуса всего оборудования и аппаратов должны быть присоединены к заземляющему устройству электроустановок;

протяженные трубопроводы, выполненные из металла, в местах их взаимного сближения на расстояние менее 10 см через 30 м должны быть соединены металлическими перемычками.

6.5. МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ III КАТЕГОРИИ

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации.

В конструктивном отношении защита должна выполняться теми же способами и молниеотводами, что и для II категории. Однако молниеприемная сетка должна иметь площадь не более 150 м^2, например ячейки 12×12 м.

Каждый токоотвод от стержневых и тросовых молниеприемников присоединяют к заземлителю, состоящему не менее чем из двух вертикальных электродов длиной не менее 3 м, объединенных горизонтальным электродом длиной не менее 5 м.

Наружные установки, содержащие горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С (установки с зонами класса II—III), защищают молниеотводами, установленными отдельно или на самом сооружении, если корпуса установок и групп резервуаров имеют толщину крыши из металла менее 4 мм, а в случае наличия крыши с толщиной металла 4 мм, достаточно выполнить только их заземление.

Защита от прямых ударов молнии неметаллических труб, башен, вышек высотой более 15 м выполняется путем установки на этих сооружениях:

при высоте до 50 м — одного стержневого молниеприемника высотой не менее 1 м и одного токоотвода;

при высоте от 50 до 150 м — двух стержневых молниеприемников высотой не менее 1 м, объединенных на верхнем конце трубы, и двух токоотводов;

при высоте более 150 м — не менее трех стержневых молниеприемников высотой 0,2—0,5 м, объединенных на верхнем конце трубы, и двух токоотводов.

6.6. КОНСТРУКЦИИ МОЛНИЕОТВОДОВ

Опоры стержневых молниеотводов должны быть рассчитаны на механическую прочность как свободно стоящие конструкции, а опоры тросовых молниеотводов — с учетом натяжения троса и действия на него ветровой нагрузки и гололеда.

Опоры отдельно стоящих молниеотводов могут выполняться из любой марки стали, железобетона или дерева.

ВНИПИ Тяжпромэлектропроект разработал молниеотводы двух видов — стержневые и тросовые (рис. 6.5, табл. 6.4).

Таблица 6.4. **Металлические стержневые и тросовые молниеотводы**

Тип молниеотвода		Высота молниеотвода, м	Расход металла, кг
Отдельно стоящий стержневой	Тросовый (антенный)		
СМ15	АМ15	15	1280
СМ20	АМ20	20	1780
СМ25	АМ25	25	2380
СМ30	АМ30	30	2900
СМ35	АМ35	35	3640
СМ40	АМ40	40	4700
СМ45	АМ45	45	5700
СМ50	АМ50	50	6420
СМ55	АМ55	55	7540
СМ60	АМ60	60	8320
СМ65	АМ65	65	9960
СМ70	АМ70	70	11 020
СМ75	АМ75	75	12 720

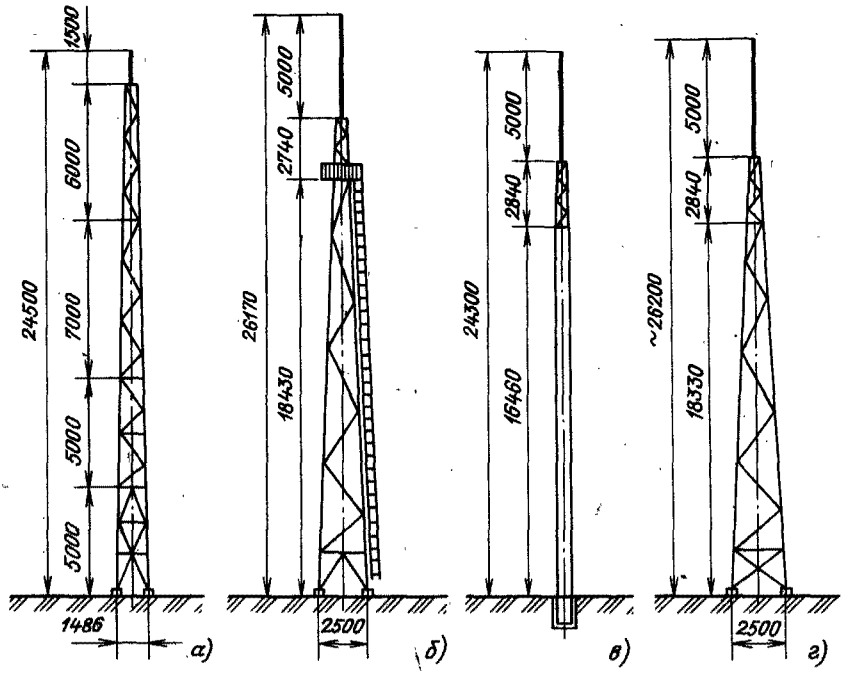


Рис. 6.5. Стержневые молниеотводы:
а, г — металлические; *б* — прожекторная мачта; *в* — железобетонный

Таблица 6.5. **Унифицированные прожекторные мачты с установкой молниеприемника**

Тип прожекторной мачты	Высота молниеотвода, м	Расход материалов	
		металла, кг	сборного железобетона, м³
Металлические			
ПМС-18,4	26,17	2023	2,36
ПМС-25,5	33,19	2429	4,4
ПМС-30,5	38,24	3723	6,0
Железобетонные			
ПМЖ-16,6	24,3	849	1,7
ПМЖ-19,3	27,05	909	2,0

Таблица 6.6. **Унифицированные металлические и железобетонные отдельно стоящие молниеотводы**

Тип молниеотвода	Высота, м	Расход материалов	
		металла, кг	сборного железобетона, м
Металлические			
МС-26,2	26,17	1386	2,36
МС-33,2	33,19	1674	2,36
Железобетонные			
МЖ-24,3	24,3	211	1,7
МЖ-27	27,05	211	2,0
МЖ-30,6	30,55	203	2,5

Для тросовых молниеотводов рекомендуется применять стальной многопроволочный оцинкованный канат сечением 35—50 мм².

Институтом «Энергосетьпроект» разработаны типовые конструкции для унифицированных прожекторных мачт с установкой молниеприемников и отдельно стоящих молниеотводов (табл. 6.5 и 6.6). Общий вид некоторых из них показан на рис. 6.5 *б, в, г*.

Токоотводы и заземлители для стержневых и тросовых молниеотводов, стальной кровли и молниеприемной сетки рекомендуется выбрать из стали с размерами не менее приведенных в табл. 6.7.

Соединения молниеприемников с токоотводами и заземлителями должны выполняться, как правило, сваркой.

Молниеприемники могут быть изготовлены из стали любой марки различного профиля сечением не менее 100 мм² и длиной не менее 200 мм.

Таблица 6.7. **Допустимые минимальные размеры токоотводов и заземлителей**

Материал	Размеры проводников	
	снаружи здания на воздухе	в земле
Сталь круглая диаметром, мм	6	10
Стальная полоса:		
сечение, мм^2	48	160
толщина, мм	4	4
Стальной уголок:		
сечение, мм^2	—	160
толщина, мм	—	4
Стальная труба с толщиной стенки, мм	—	3,5

6.7. КОНСТРУКЦИИ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

По расположению в грунте искусственные заземлители подразделяются на вертикальные, горизонтальные и комбинированные. Длина вертикальных стальных электродов круглого сечения принимается равной 3—5 м для ввинчиваемых и 3 м для забиваемых. Верхний конец электрода должен быть заглублен на 0,6—0,8 м от поверхности земли.

Горизонтальные электроды из круглой или полосовой стали укладываются на глубине 0,6—0,8 м от поверхности земли.

Комбинированные заземлители состоят из вертикальных и горизонтальных электродов, объединенных в общую систему.

При использовании железобетонных фундаментов в качестве заземлителей не требуется выполнения магистралей внутреннего и внешнего заземления здания, а также специальных металлических полос для выравнивания потенциалов.

В табл. 6.8 приведены одиночные конструкции заземлителей и их минимально допустимые размеры для использования в системе молниезащиты.

6.8. УСТРОЙСТВА МОЛНИЕЗАЩИТЫ И РАСЧЕТЫ

Методика расчета и построения зон защиты молниеотводов. Проектирование устройств молниезащиты зданий и сооружений рекомендуется выполнять в такой последовательности:

определение интенсивности грозовой деятельности района по данным метеостанции или карте среднегодовой грозовой продолжительности (см. рис. 6.1), а также ожидаемого количества поражений здания;

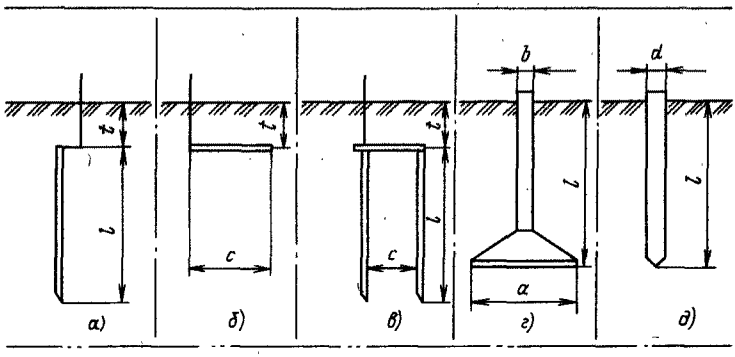


Рис. 6.6. Одиночные конструкции заземлителей:
а — вертикальный стержневой; *б* — горизонтальный полосовой; *в* — комбинированный двухстержневой; *г* — опорный подножник; *д* — вертикальная свая

Таблица 6.8. **Одиночные заземлители и их минимальные размеры**

Тип заземлителя	Материалы и размеры
Вертикальный стержневой (рис. 6.6, *а*)	Сталь круглая; $d=12\div20$ мм; $l=3\div5$ м
Горизонтальный полосовой (рис. 6,6 *б*)	Сталь полосовая; 4×40 мм; $c=5$ м
Комбинированный двухстержневой (рис. 6.6, *в*)	Сталь круглая; $d=12\div20$ мм; $l=3\div5$ м
	Сталь полосовая; 4×40 мм; $c=5$ мм
Опорный подножник (рис. 6.6, *г*)	Железобетонная конструкция; $a\geqslant1{,}8$ м; $b\geqslant0{,}4$ м; $l\geqslant2{,}2$ м
Вертикальная свая (рис. 6.6, *д*)	Железобетонная конструкция; $d=0{,}25\div0{,}4$ м; $l\geqslant5$ м

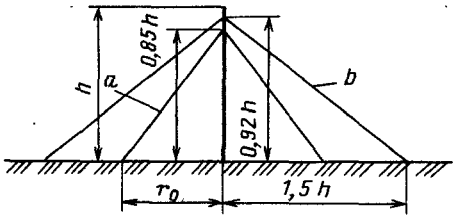


Рис. 6.7. Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода в разрезе (*а* — граница защиты зоны типа А; *б* — граница защиты зоны типа Б)

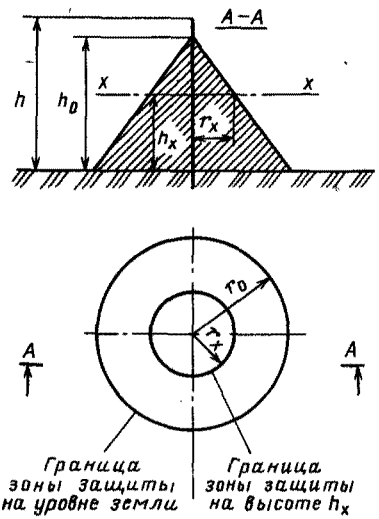


Рис. 6.8. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

определение класса взрывоопасности и пожарной опасности по ПУЭ и степени огнестойкости здания или сооружения;

определение категории здания и зоны защиты по устройству молниезащиты;

расчет и построение на чертеже зон молниезащиты, размещение молниеотводов на здании, сооружении или генплане;

разработка мероприятий по защите от вторичных проявлений молнии, а также от заноса высокого потенциала;

выбор заземляющих устройств;

составление задания на изготовление молниеотводов и заземлителей.

Расчет и построение зоны защиты. Зоны защиты типов *А* и *Б* (рис. 6.7) рассчитываются и определяются для молниеотводов высотой не более 150 м над уровнем земли.

Зона защиты одиночного стержневого

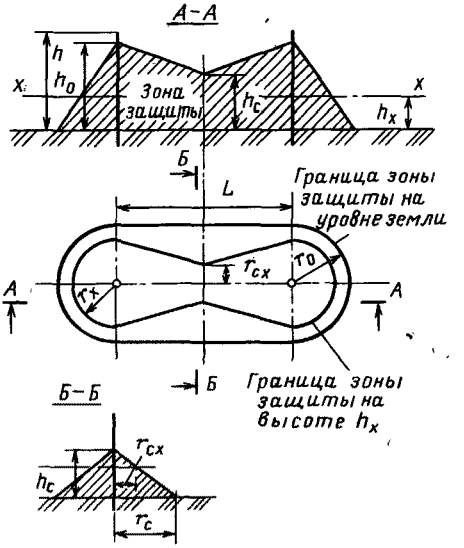


Рис. 6.9. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода одинаковой высоты

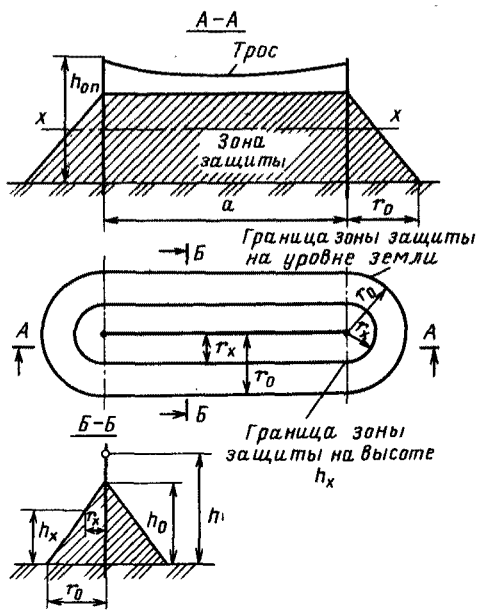


Рис. 6.10. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

молниеотвода высотой до 150 м представляет собой круговой конус (рис. 6.8). Зона защиты двойного стержневого молниеотвода приведена на рис. 6.9.

Основными размерами, определяющими границы зоны защиты, являются: высота мол-

Таблица 6.9. **Расчет зоны защиты молниеотводов высотой до 150 м**

Тип молниеотвода	Зона защиты: Тип	Зона защиты: Условие	Формулы основных размеров зоны защиты: Вершина конуса h_0	Радиус основания конуса r_0	Радиус защиты r_x	Высота защиты в месте снижения зоны h_c	Радиус сужения зоны в месте снижения зоны r_{cx}
Одиночный стержневой молниеотвод (рис. 6.8)	А	—	$0{,}85h$	$(1{,}1-2\cdot10^{-3}h)h$	$(1{,}1-2\cdot10^{-3}h)\left(h-\frac{h_x}{0{,}85}\right)$	—	—
	Б	—	$0{,}92h$	$1{,}5h$	$1{,}5\left(h-\frac{h_x}{0{,}92}\right)$	—	—
Двойной стержневой молниеотвод одинаковой высоты (рис. 6.9)	А	$L\leqslant h$	$0{,}85h$	$(1{,}1-2\cdot10^{-3}h)h$	$(1{,}1-2\cdot10^{-3}h)\left(h-\frac{h_x}{0{,}85}\right)$	h_0	r_x
	А	$h<L\leqslant 2h$	$0{,}85h$	$(1{,}1-2\cdot10^{-3}h)h$	$(1{,}1-2\cdot10^{-3}h)\left(h-\frac{h_x}{0{,}85}\right)$	$(0{,}17+3\cdot10^{-4}h)\times(L-h)$	$r_0\left(\frac{h_c-h_x}{h_c}\right)$
	Б	$L\leqslant h$	$0{,}92h$	$1{,}5h$	$1{,}5\left(h-\frac{h_x}{0{,}92}\right)$	h_0	r_x
	Б	$h<L\leqslant 6h$	$0{,}92h$	$1{,}5h$	$1{,}5\left(h-\frac{h_x}{0{,}92}\right)$	$h_0-0{,}14(L-h)$	$r_0\left(\frac{h_c-h_x}{h_c}\right)$
Одиночный тросовый молниеотвод (рис. 6.10)	А	—	$0{,}85h$	$(1{,}35-2{,}5\cdot10^{-4}h)h$	$(1{,}35-2{,}5\cdot10^{-4}h)\times\left(h-\frac{h_x}{0{,}85}\right)$	—	—
	Б	—	$0{,}92h$	$1{,}7h$	$1{,}7\left(h-\frac{h_x}{0{,}92}\right)$	—	—

Примечание. h — высота молниеотвода, м; для тросового молниеотвода принимается высота троса в точке наибольшего провеса; L — расстояние между одиночными молниеотводами, м; h_x — высота защищаемого сооружения, м.

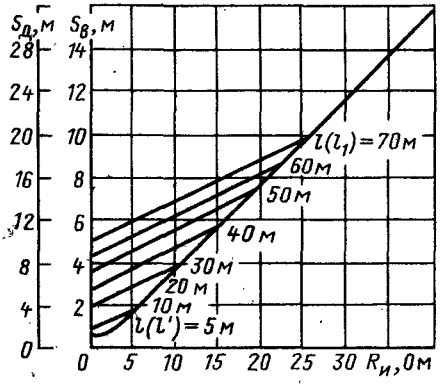


Рис. 6.11. Наименьшие допустимые расстояиия от стержиевого молниеотвода до защищаемого сооружения

ниеотвода h, вершииа зоиы защиты h_0, радиус основаиия коиуса на уровие земли r_0.

Зоны защиты рассчитываются по формулам, приведеиным в табл. 6.9.

Зона защиты одиночиого тросового молниеотвода высотой до 150 м показана на рис. 6.10, где h — высота троса в точке наибольшего провеса.

Зоиа защиты миогократиого стержневого молниеотвода определяется как зоиа защиты попарио взятых соседних стержневых молниеотводов.

Расчет допустимых расстояний от коиструктивных элементов молниеотвода до защищаемого сооруженя I категорнн. Для отдельно стоящего стержневого молниеотвода, изолироваииого от сооружения, наименьшие допустимые расстояния по воздуху $S_в$ или диэлектрической стойки $S_д$ от молниеотвода до защищаемого сооружения выбираются в завясимости от импульсного сопротивления заземлеиия $R_и$ и длины токоотвода l до наиболее опасиых точек, с которых возможно перекрытие, по кривым, приведеиным на рис. 6.11.

Расстояние по воздуху $S_в$ зависит от длины токоотвода l (от точки A на рис. 6.4), а длиа диэлектрической стойки выбирается по полной длине токоотвода l'_1 (от точки B на рис. 6.4).

Для отдельио стоящего молниеотвода наимеиьшее допустимое расстояние $S_в$ по воздуху от защищаемого здания до опоры молниеотвода (рис. 6.2) определяется в зависимости от высоты здаиия, конструкции заземлителя и эквивалентного удельного сопротивлеиия грунта.

Для здания высотой $h \leqslant 30$ м допустимое расстояние равно:

при $\rho_0 \leqslant 100$ Ом·м для заземлителя любой конструкции (см. рис. 6.7) $S_в = 3$ м;

при $100 < \rho_0 \leqslant 1000$ Ом·м для заземлителей из одной железобетониой сваи, одного железобетонного подножника $S_в = 3 + 10^{-2}(\rho_0 - 100)$, для заземлителей из четырех свай или четырех подножников или фундамента произвольной формы с площадью поверхности коитакта с землей ие менее 70 м^2 или искусствеиных заземлителей из трех и более электродов $S_в = 4$ м.

Для зданий высотой $h > 30$ м расстояние по воздуху увеличивается из расчета 1 м на каждые 10 м превышения высоты 30 м.

Для тросового молииеотвода наименьшее допустимое расстояиие $S_{в1}$ по воздуху от здаиия до троса в середиие пролета (см. рис. 6.3) определяется в зависимости от конструкции заземлителя, удельного сопротивлеиия грунта и суммарной длины молниеотводов и троса:

$$l = l_1 + l_2 + l_3,$$

где l_1 и l_2 — длина молииеотводов; l_3 — длина троса или расстояиие между молниеотводами.

При $l < 200$ м $S_{в1}$ равно:

при $\rho_0 \leqslant 100$ Ом·м для заземлителей коиструкции, показанной на рис. 6.6 *в*, *г* и *д*) $S_{в1} = 3{,}5$ м;

при $100 < \rho_0 \leqslant 1000$ Ом·м для заземлителей (см. рис. 6.6, *г* и *д*) $S_{в1} = 3{,}5 + 3 \cdot 10^{-3}(\rho_0 = 100)$, для заземлителей из четырех свай или четырех подножников или искусственных заземлителей из трех и более электродов $S_{в1} = 4$ м.

При суммарной длине молниеприемиików и токоотводов $l = 200 \div 300$ м расстояиие $S_{в1}$ должно быть увеличено иа 2 м по сравиению с определеиными выше значениями.

Для исключения заноса высокого потенциала в защищаемое здаиие наименьшее допустимое расстояние $S_з$ в земле между заземлителями защиты от прямых ударов молнии и коммуникациями, вводимыми в здаиие I категории, можно определить, м,

Таблица 6.10. **Значеиие коэффициента импульса**

Тип заземлнтеля	Удельное сопротивление грунта ρ_0, Ом·м				
	до 100	100	500	1000	2000
Вертикальный	0,9	0,9	0,7	0,5	0,35
Комбиииро-ванный	0,9	0,7	0,5	0,3	—

$$S_з = S_в + 2.$$

Расчет импульсного сопротивления заземляющего устройства для отдельно стоящего изолированного стержневого молниеотвода можно ориентировочно определить по формуле

$$R_и = \alpha R_\sim,$$

где α — коэффициент импульса (табл. 6.10); R — сопротивление заземлителя при 50 Гц, Ом.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

7.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основным критерием электробезопасности являются предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, протекающих через тело человека. При проектировании электроустановок и выборе способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц следует в первую очередь руководствоваться требованиями ГОСТ 12.1.038—82 * «Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов», который устанавливает эти величины для путей протекания тока от одной руки к другой или от руки к ногам, в зависимости от длительности воздействия тока.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с заземлением или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в табл. 7.1.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения при аварийном режиме производственных электроустановок с частотой 50 Гц, напряжением выше 1 кВ с эффективным заземлением нейтрали не должны превышать значений, указанных в табл. 7.2.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ и частотой 50 Гц не должны превышать значений, указанных в табл. 7.3.

При повреждении изоляции электрооборудования на его корпусах и других частях электроустановок могут возникать опасные потенциалы. Эти части электроустановок являются потенциально опасными частями.

К потенциально опасным частям относятся следующие части электроустановок:

1) металлические части электротехнического оборудования и изделий: корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников, соединителей штепсельных, приводы электрических аппаратов, оболочки, каркасы, металлические конструкции комплектных устройств, а также съемные и открывающиеся части, если на них установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока; оболочки и броня кабелей, проводов (включая трубчатые) и шинопроводов, кабельные муфты, соединительные коробки и т. п.;

2) металлические опорные, ограждающие и другие конструкции, находящиеся в непосредственном соприкосновении с частями, указанными в п. 1: рамы электрических машин, трансформаторов, основания комплектных устройств, станины станков, машин и механизмов, кабельные конструкции, лотки, короба, ограждении отдельных частей электроустановок, протяжные и ответвительные коробки, оболочки изоляционных трубок, металлорукава, опорные конструкции шинопроводов, струны и тросы, стальные полосы, металлические трубы электропроводок и т. п.;

3) металлические строительные и стационарные установленные производственные конструкции и оборудование, трубопроводы всех назначений, рельсы крановых и железнодорожных путей и т. п.

Все потенциально опасные части должны быть заземлены или занулены либо к ним должны быть применены другие меры защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции в соответствии с требованиями гл. 1.7 ПУЭ.

Потенциально опасными частями не считаются: скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия, отрезки стальных труб на выходах из пола пластмассовых труб электропроводки, протяжные и ответвительные коробки и другие подобные детали, имеющие длину стороны или диаметр основания не

Таблица 7.1. **Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью**

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни (не более) при продолжительности воздействия тока, с											
		0,01—0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	свыше 1,0
Переменный 50 Гц	U, В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
	I, мА	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	6
Переменный 400 Гц	U, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	8
Постоянный	U, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I, мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15
Выпрямленный двухполупериодный	$U_{ампл}$, В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
	$I_{ампл}$, мА	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
Выпрямленный однополупериодный	$U_{ампл}$, В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—
	$I_{ампл}$, мА	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—

Таблица 7.2. **Предельно допустимые уровни напряжений прикосновении при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением выше 1 кВ с эффективным заземлением нейтрали**

Продолжительность воздействия t, с	Предельно допустимый уровень напряжений прикосновения, U, В
До 0,1	500
0,2	400
0,5	200
0,7	130
1	100
—	65

более 100 мм; электропроводки, выполняемые кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам, перекрытиям и другим элементам строений, а также арматура изоляторов (всех типов), оттяжки, кронштейны, осветительная арматура, установленные на деревянных конструкциях (опорах) при условии, что на этих деревянных конструкциях отсутствуют заземлейные или зануленные металлические предметы (металлические оболочки кабелей, неизолированные защитные проводники и т. д.).

Не требуется преднамеренно заземлять или зануля ть следующие потенциально опасные части: корпуса электрооборудования, аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, распределительных устройствах, на щитах, шкафах, щитках, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями. Исключение составляют случаи установки такого электрооборудования в помещениях с химически активной средой и особо сырых помещениях, а также во взрывоопасных зонах.

Определении. Приведенные ниже определения терминов приняты по проекту главы 1.7 ПУЭ (седьмого издания).

Нейтраль электроустановки — физическая нейтраль трансформатора или генератора в сетях трехфазного тока, а при ее отсутст-

Таблица 7.3. **Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ**

Продолжительность воздействия t, с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t, с	Нормируемая величина	
	U, В	I, мА		U, В	I, мА
0,01—0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	свыше 1	12	2

вии один из выводов источника тока, средняя точка источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

Заземленная нейтраль — нейтраль трансформаторов (генератора), присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока).

Изолированная нейтраль — нейтраль трансформатора (генератора), не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения и защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью — трехфазная электрическая сеть, в которой отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания не превышает 1,4. При этом потенциал земли и сопротивление в точке замыкания принимаются равными нулю.

Потенциально опасные части — доступные прикосновению человека металлические неТоковедущие части электроустановок, между которыми (или между ними и землей) при нарушении изоляции токоведущих частей относительно земли может возникнуть напряжение, превышающее предельно допустимое для людей значение напряжения прикосновения (по ГОСТ 12.1.038—82*).

Замыкание на землю — соединение токоведущей части электроустановки непосредственно с землей или с конструктивными частями, не изолированными от земли.

Замыкание на корпус — соединение токоведущей части электроустановки с потенциально опасными частями.

Ток замыкания на землю — ток, стекающий в землю через место замыкания.

Заземление — преднамеренное соединение потенциально опасных или токоведущих частей электроустановки с заземляющим устройством.

Защитное заземление — заземление потенциально опасных частей с целью обеспечения электробезопасности.

Рабочее заземление — заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

Зануление — преднамеренное соединение потенциально опасных частей с заземленной нейтралью электроустановки до 1 кВ с целью автоматического отключения поврежденного участка сети.

Уравнивание потенциала — снижение разности потенциалов между различными потенциально опасными частями путем соединения их между собой.

Выравнивание потенциала — снижение разности потенциалов между заземляющим устройством и поверхностью земли или другого основания, окружающих это устройство, путем соединения его с уложенными в земле, на поверхности земли или основании защитными проводниками, применения специальных покрытий земли (оснований) с низким удельным сопротивлением.

Защитное отключение — автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети до 1 кВ, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыкании на корпус или снижении уровня изоляции ниже определенного значения.

Защитное разделение сети — электрическое отделение цепи электроприемника от питающей сети посредством разделительных трансформаторов или двигатель-генераторов.

Малое напряжение — номинальное напряжение между фазами (полюсами) и по отношению к земле не более 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока, применяемого в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.

Двойная изоляция — совокупность рабочей и защитной (дополнительной) изоляции электрооборудования, при которой повреждение только рабочей или только защитной (дополнительной) изоляции не приводит к появлению опасного напряжения на корпусе.

Заземляющее устройство — совокупность электрически соединенных заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлитель — проводник (электрод) или совокупность электрически соединенных между собой проводников (электродов), осуществляющих электрическую связь с землей.

Искусственный заземлитель — заземлитель, сооружаемый специально для целей заземления.

Естественный заземлитель — находящиеся в соприкосновении с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, имеющие электрическую связь с землей и используемые для целей заземления.

Выносной заземлитель — искусственный заземлитель, расположенный на некотором удалении от электроустановки и связанный с ней посредством заземляющих проводников.

Защитный проводник — проводник, соединяющий заземлители, нейтраль электроустановки и потенциально опасные части с

целью выполнения заземления, зануления и уравнивания потенциалов. Защитный проводник может быть заземляющим, нулевым защитным и уравнивающим.

Нулевой защитный проводник — проводник, соединяющий зануляемые части с нейтралью электроустановки.

Искусственный защитный проводник — защитный проводник, предусматриваемый специально.

Естественный защитный проводник — проводник или металлический элемент установки, предусмотренный для иной цели и используемый в качестве защитного проводника.

Заземляющий проводник — проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Естественный заземляющий проводник — металлический каркас, стальная арматура железобетонного каркаса зданий и сооружений, а также металлические конструкции технологического, электротехнического, сантехнического и т. п. назначения, соединяющие заземляемые части с заземлителем.

Нулевой рабочий проводник — проводник, используемый для питания электроприемников и соединения их нулевых выводов с заземленной нейтралью электроустановки.

Нулевой проводник — проводник, сочетающий функции защитного и нулевого рабочего проводников.

Магистраль заземления (зануления) — защитный проводник, имеющий два ответвления или более.

Зона нулевого потенциала — зона земли, где потенциал, создаваемый током растекания от заземлителя, может быть принят равным нулю.

Зона растекания — зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

Напряжение на заземляющем устройстве — напряжение, возникающее при стекании тока с заземляющего устройства в землю, между точкой ввода тока в заземляющее устройство и зоной нулевого потенциала.

Напряжение прикосновения — напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Вынос потенциала — распространение напряжения на заземляющем устройстве относительно зоны нулевого потенциала за пределы электроустановки по естественным или искусственным заземлителям или защитным проводникам.

Сопротивление заземляющего устройства — отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземляющего устройства в землю.

Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой — удельное сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

7.2. ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ

Для защиты людей от поражения электрическим током следует применять следующие защитные меры: заземление, зануление, защитное отключение, малое напряжение, защитное разделение сети, двойную изоляцию, уравнивание потенциалов, выравнивание потенциалов.

Выбор защитных мер должен производиться в зависимости от следующих факторов: режима работы нейтрали электроустановок, номинального напряжения сети, категории опасности помещений, в которой размещена электроустановка, класса применяемых в электроустановках изделий по ГОСТ 12.2.007.0—75 *, технико-экономической целесообразности.

Заземление следует применять во всех электроустановках напряжением выше 1 кВ, а также в электроустановках до 1 кВ с изолированной нейтралью. Зануление — в электроустановках до 1 кВ с заземленной нейтралью.

Защитное отключение рекомендуется применять в электроустановках до 1 кВ с любым режимом работы нейтрали, к которым предъявляются повышенные требования безопасности (где высока вероятность прикосновения к токоведущим частям, в сетях выше 42 В для питания переносного инструмента без двойной изоляции, в жилых и общественных помещениях, насыщенных металлоконструкциями, могущих иметь связь с землей, в животноводческих фермах и т. п.) или когда по каким-либо причинам трудно осуществить надежное заземление и зануление (передвижные и испытательные электроустановки, электроустановки, расположенные в районах с плохопроводящими грунтами и т. д.). Малое напряжение, защитное разделение сети, двойную изоляцию следует применять в электроустановках до 1 кВ, где имеется техническая возможность и экономическая целесообразность, и, как правило, для отдельных электроприемников.

Выравнивание и уравнивание потенциалов следует применять в качестве дополнительной меры с целью снижения напряжения прикосновения в электроустановках, в которых применяются заземление и зануление.

Допускается не применять защитных мер

в электроустановках с номинальным напряжением до 380 В переменного тока и 440 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и не имеющих взрывоопасных зон.

При невозможности выполнения заземления, зануления или защитного отключения, удовлетворяющего условиям безопасности, или, если это представляет значительные трудности по технологическим причинам, допускается обслуживание электрооборудования с изолирующих площадок.

7.3. ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Рабочее заземление. В большинстве случаев рабочее заземление само по себе основных защитных функций не несет, эти функции выполняет система зануления, осуществляемая совместно с заземлением. Назначение рабочего заземления состоит в том, чтобы обеспечить надежную работу защиты при замыкании одной фазы на корпус или землю и предотвратить при этом повышение напряжения неповрежденных фаз относительно земли. В сетях до 1 кВ эти повышения напряжения приводят к большей опасности поражения электрическим током, а в сетях 110 кВ и выше — к повреждению изоляции между неповрежденными фазами и заземленными частями. В электроустановках до 1 кВ, питаемых через трансформаторы, нейтраль обмотки низшего напряжения или одна из его фаз должна быть присоединена к заземлителю наглухо. При пробое изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений заземление нейтрали или фазы снижает потенциал относительно земли сети низшего напряжения. В этом случае рабочее заземление нейтрали или фазы выполняет также защитные функции.

Защитное заземление. Назначение защитного заземления состоит в том, чтобы обеспечить между корпусами защищаемого электрооборудования и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением и тем самым снизить до безопасного значения напряжение прикосновения во время замыкания на корпус электрооборудования. Для выполнения этого требования потенциально опасные части всего электрооборудования должны быть надежно подключены к заземляющему устройству.

В электроустановках промышленных предприятий опасные напряжения прикосновения могут возникнуть не только между корпусом поврежденного электрооборудования и землей, но и между корпусами электрооборудования и металлическими частями зданий, трубопроводами, станинами станков и т. п. Поэтому с целью уравнивания потенциала во всех помещениях и наружных установках, где применяется заземление или зануление, строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные металлические трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути и т. п., должны быть присоединены к сети заземления или зануления. При этом естественные контакты в сочленениях являются достаточными. При использовании металлических конструкций строительного или производственного назначения в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников должна быть обеспечена непрерывность электрической цепи. В тех местах, где отсутствует естественный металлический контакт между элементами конструкций, соединения между ними должны осуществляться гибкими перемычками из стального троса. В местах сварных, болтовых и заклепочных соединений металлических строительных конструкций устанавливать гибкие перемычки не требуется.

Заземление и зануление электроустановок следует выполнять при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока — во всех случаях; при напряжениях выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока — только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках. Заземление и зануление электроустановок не требуется при напряжениях 42 В и ниже переменного тока и 110 В и ниже постоянного тока, за исключением электрооборудования взрывоопасных установок.

В электроустановках до 1 кВ с изолированной нейтралью в качестве защитной меры должно выполняться заземление в сочетании с контролем изоляции сети или защитное отключение. В электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью должно быть выполнено заземление и предусмотрена возможность выявления и быстрого отыскания замыкания на землю.

Для заземления электроустановок различных напряжений, территориально приближенных друг к другу, рекомендуется применять одно общее заземляющее устройство.

Защитное заземление в электроустановках рекомендуется выполнять исходя из обеспечения допустимых напряжений прикосновения. При обеспечении предельно допустимых значений напряжения прикосновения значения сопротивлений заземляющих устройств, за исключением электроустановок до 1 кВ с заземленной нейтралью, могут не нормироваться. В электроустановках до 1 кВ с заземленной нейтралью сопротивление заземляю-

щего устройства нормируется исходя из условия обеспечения электробезопасности при обрыве фазного провода.

Сопротивление заземляющих устройств. В электроустановках напряжением по 1 кВ с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства, используемого для заземления электрооборудования, должно быть не более 4 Ом. При мощности генераторов и трансформаторов 1 кВ·А и менее заземляющие устройства могут иметь сопротивление не более 10 Ом. Если генераторы и трансформаторы работают параллельно, то сопротивление 10 Ом допускается при суммарной их мощности не более 100 кВ·А.

В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью сопротивление заземляющих устройств, к которым присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов либо выводы источника однофазного тока, должны быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

При удельном электрическом сопротивлении земли более 100 Ом·м допускается увеличивать указанные выше нормы в отношении $\rho/100$, но не более 10-кратного. В установках напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью и без компенсации емкостных токов сопротивление заземляющего устройства с учетом естественных заземлителей должно иметь следующие значения:

если заземляющее устройство одновременно используется для электроустановок напряжением до 1 кВ

$$R \leqslant \frac{125}{I}, \qquad (7.1)$$

но не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока;

если заземляющее устройство используется только для электроустановок напряжением выше 1 кВ

$$R \leqslant \frac{250}{I}, \qquad (7.2)$$

но не более 10 Ом, где R — наибольшее с учетом сезонных колебаний сопротивление заземления, Ом; I — расчетный ток замыкания на землю, А. Расчетным током является полный ток замыкания на землю. В сетях напряжением выше 1 кВ с компенсацией емкостных токов сопротивление заземляющего устройства рассчитывают по (7.1), (7.2), принимая в качестве расчетного:

для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, ток, равный 125 % номинального тока этих аппаратов;

для заземляющих устройств, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, остаточный ток замыкания на землю, который может иметь место в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов или наиболее разветвленного участка сети.

Расчетные значения токов замыкания на землю должны быть определены для той из возможных в эксплуатации схемы сети, при которой токи замыкания на землю имеют наибольшее значение.

Если электроустановки напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью отключаются действием защиты от однофазных или междуфазных замыканий, то заземляющие устройства этих установок могут рассчитываться по (7.1), (7.2), при этом в качестве расчетного принимается ток срабатывания релейной защиты от однофазных или междуфазных замыканий либо ток плавления предохранителей. В этих случаях ток замыкания на землю должен быть не менее 1,5-кратного тока срабатывания релейной защиты или 3-кратного номинального тока предохранителей.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью сопротивление заземляющих устройств в любое время года не должно превышать 0,5 Ом, включая сопротивление естественных заземлителей, при этом напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю не должно превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается на заземляющих устройствах, с которых исключен вынос потенциалов за пределы зданий и внешних ограждений. При напряжении на заземляющих устройствах выше 5 и до 10 кВ должны предусматриваться меры по защите кабелей

Таблица 7.4. **Наименьшие размеры стальных заземлителей**

Круглые неоцинкованные диаметром, мм	10
Круглые оцинкованные диаметром, мм	6
Прямоугольные:	
сечение, мм^2	48
толщина, мм	4
Сталь угловая, толщина полок, м	4
Стальные трубы, толщина стенок, мм	3,5

Таблица 7.5. **Наименьшие размеры неизолированных заземляющих и нулевых защитных проводников**

Материал проводника	В зданиях	В наружных установках
Медь сечением, мм^2	4	—
Алюминий сечением, мм^2	6	—
Сталь:		
круглая диаметром, мм	5	6
полосовая:		
толщина, мм	3	4
сечение, мм^2	24	48
угловая с толщиной полки, мм	2	2,5
трубы с толщиной стенки, мм	1,5	2,5

связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы электроустановки. Если заземляющее устройство выполняется по требованиям, предъявляемым к напряжениям прикосновения, то сопротивление не нормируется.

Заземляющие проводники. В электроустановках напряжением до 1 кВ и выше с изолированной нейтралью проводимость заземляющих проводников должна составлять не менее 1/3 проводимости фазных проводников, при этом не требуется применять заземляющие провода сечением более 25 мм^2 — для медных проводов, 35 мм^2 — для алюминиевых и 100 мм^2 — для стальных. По условиям механической прочности сечения заземляющих проводников не должны быть меньше указанных в табл. 7.4 и 7.5. В производственных помещениях с электроустановками выше 1 кВ магистрали заземления из стальной полосы рекомендуется принимать сечением не менее 120 мм^2, а при напряжении до 1 кВ — не менее 100 мм^2. Допускается применение круглой стали той же проводимости. В электроустановках выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью сечения заземляющих проводников должны быть выбраны такими, чтобы при протекании по ним расчетных токов однофазных замыканий на землю температура заземляющих проводников не превысила 400 °С (кратковременный нагрев, соответствующий времени действия основной защиты).

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ С ЭФФЕКТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Широкое внедрение подстанций с упрощенными схемами со стороны высшего напряжения, применение комплектных трансформаторных подстанций привели к существенному снижению площадей, занимаемых открытыми РУ. Размещение заземляющих устройств с сопротивлением 0,5 Ом в габаритах территорий таких подстанций, как правило, не представляется возможным. В этих случаях возникает необходимость выноса заземлителей за пределы территории, что само по себе приводит к увеличению опасности поражения электрическим током людей и животных, могущих оказаться в зоне размещения заземлителя. В ряде случаев возникают трудности с обеспечением сопротивления растеканию заземляющего устройства, равным 0,5 Ом, например, в районах с большим удельным сопротивлением грунтов при отсутствии мощных естественных заземлителей и т. п. Кроме того, выполнение заземляющего устройства сопротивлением 0,5 Ом приводит к большому расходу черного металла (труб). Расчет заземляющего устройства в этом случае сводится к определению напряжения прикосновения в различных наиболее опасных местах электроустановки, например в рабочих местах, а также у ограды с внутренней и внешней стороны при размещении заземлителя на расстоянии менее 3 м от ограды.

Напряжение прикосновении в общем случае

$$U_{пр} = R_{з.э} I_к \alpha_{до.пр} \beta, \qquad (7.3)$$

где $R_{з.э} = \dfrac{R_з R_{е.з}}{R_з + R_{е.з}}$; $\alpha_{до.пр} = \dfrac{U_{до.пр}}{U_з}$;

$\beta = \dfrac{R_т}{R_т + R_{ног}}$; $R_{ног} = 1{,}5\rho_s$; $U_{до.прМ} = U_з - U_М$,

$U_{пр}$ — напряжение прикосновения, В; $R_{з.э}$ — эквивалентное сопротивление заземлителя, Ом; $I_к$ — ток однофазного замыкания на землю, А; $\alpha_{до.пр}$ — коэффициент до прикосновения; $R_т$ — сопротивление тела человека, Ом; $R_{ног}$ — переходное сопротивление ног человека, Ом; ρ_s — удельное сопротивление поверхностного слоя земли, Ом·м; $R_з$ — сопротивление искусственного заземлителя, Ом; $R_{е.з}$ — сопротивление естественных заземлителей, Ом; $U_М$ — напряжение в произвольной точке $М$ земли, В; $U_{до.прМ}$ — напряжение до прикосновения в точке $М$, В; $U_з$ — напряжение на заземлителе.

В условиях сложного заземлителя, размещенного, как правило, в земле с двухслойной электрической структурой, при различных возможных местах ввода тока замыкания на землю определение некоторых из указанных выше величин представляет собой большие трудности из-за очень большого объема вычислений.

Поэтому расчет заземляющих устройств по напряжению прикосновения выполняется только с применением средств вычислительной техники. В табл. 7.2 приведены нормы допустимых напряжений прикосновения, которыми следует руководствоваться при проектировании заземляющего устройства.

Для промежуточных значений длительности воздействия напряжения прикосновения в интервале времени 0,1—1 с допустимые напряжения прикосновения следует определять интерполяцией. За расчетную длительность воздействия, по которой определяется допустимое напряженне прикосновения, принимается сумма времени действия релейной защиты и времени отключения выключателя. Для тех рабочих мест, где персонал, производящий оперативные переключения, может прикасаться к заземленным частям электроустановки, в качестве расчетного времени действия релейной защиты принимается время действия резервной защиты. Для остальных рабочих мест и остальной территории электроустановки в качестве расчетного принимается время действия основной защиты.

Заземляющее устройство, выполненное по нормам на напряжение прикосновения, должно обеспечивать в любое время года:

ограничение напряжения прикосновения до нормируемого значения в пределах всей электроустановки включая внешнее ограждение с его внутренней и внешней стороны;

ограниченне напряжения на заземляющем устройстве до значений 5 или 10 кВ.

Заземляющее устройство, выполненное по нормам напряжения прикосновения, должно соответствовать также требованиям защиты от атмосферных и от внутренних перенапряжений и требованиям обеспечения работы электрических сетей в нормальном и аварийном режимах.

При выполнении заземляющих устройств по нормам на напряжение прикосновения не учитывают требования к сопротивлению растеканию заземляющего устройства.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

При проектировании промышленных зданий необходимо стремиться в первую очередь использовать в качестве заземляющих устройств железобетонные фундаменты. Для надежной работы заземлителя необходимо выполнять сварку арматурного каркаса фундаментов, состоящего из арматурной сетки и стержней, и обеспечивать надежное соединение арматуры последних с металлическими конструкциями здания и частями электроустановок, подлежащих заземлению. С целью выравнивания потенциала к заземляющему устройству необходимо также присоединить технологические трубопроводы, корпуса технологических агрегатов и т. д. Элементы строительных конструкций могут успешно быть использованы также и для отвода в землю токов молнии. В качестве токоотводов используются металлические колонны или рабочая арматура железобетонных колонн, а в качестве молниеприемников — сетка из круглой стали ∅ 8 мм.

Применение этой системы заземления в большинстве случаев позволит отказаться от сооружения искусственных заземлителей и тем самым обеспечить существенную экономию черного металла и трудозатрат на сооружение заземлителей.

После окончания строительно-монтажных работ необходимо выполнить замеры сопротивления растеканию фундаментов здания.

В качестве естественных заземлителей рекомендуется также использовать технологические и кабельные эстакады.

7.4. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ ИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ (ТРУБ ИЛИ УГЛОВОЙ СТАЛИ), СВЯЗАННЫХ ПОЛОСОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ИЛИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Сопротивление заземляющего устройства $R_з$ складывается из сопротивлений растеканию отдельных электродов заземлителя (труб, уголков, полос) и сопротивлений заземляющих проводников.

Сопротивление растеканию каждого отдельного электрода зависит от удельного сопротивления грунта с учетом его сезонных изменений; формы, размеров и материала электрода; расположения электрода и глубины погружения его в землю, а также наличия вблизи него других электродов, электрически соединенных с ним.

Удельное сопротивление грунта ρ принимается по данным замеров, а при отсутствии таких данных — по табл. 7.6—7.8.

Удельное сопротивление примерзшего грунта получается умножением удельного сопротивления грунта, измеренного в нормальных условиях (15 °С и 10—20 % влажности), на поправочные коэффициенты, приведенные в табл. 7.7.

Сопротивление одного вертикального

Таблица 7.6. **Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды**

Вид грунта	ρ, Ом·м	
	Возможные пределы	Значения, рекомендуемые для предварительных расчетов
Песок	400—1000 и более	700
Супесок	150—400 и более	300
Суглинок	40—150 и более	100
Глина	8—70 и более	40
Садовая земля	40	40
Чернозем	10—50 и более	20
Торф	20	20
Речная вода (реки на равнинах)	10—80	50
Морская вода	0,2	0,2

Примечание. Значения сопротивлений даны при влажности 10—20 % массы грунта.

электрода $R_э$ определяется по формулам, приведенным в табл. 7.9.

Суммарное сопротивление части заземлителя, состоящей из вертикальных электродов (труб или уголков), электрически связанных между собой, без учета сопротивления соединяющей их полосы

$$R_{з.в} = \frac{R_в}{n\eta_в}, \qquad (7.4)$$

Таблица 7.8. **Приближенные значения сопротивлений растеканию естественных заземлителей R при ρ = 100 Ом·м**

Тип заземлителя	R, Ом
Свинцовая оболочка кабеля, глубина заложения 0,7 м в летнее время	1,5—2
Водогазопроводные трубы в земле без изоляции (большие значения относятся к коротким участкам до 200 м)	0,25—0,5
Буровые трубы артезианских колодцев	1—2
Обсадные трубы артезианских колодцев	0,2

Примечание: 1. В таблице приведены сопротивления растеканию заземлителей, имеющих длину сотен метров и более. 2. При ρ, отличающихся от 100 Ом·м, значение R умножается на отношение ρ/100. 3. При использовании в качестве заземлителей оболочек кабелей следует учитывать коэффициенты, приведенные в табл. 7.7.

где n — число вертикальных электродов; $\eta_в$ — коэффициент, учитывающий экранирование электродов соседними.

Коэффициент $\eta_в$ для данного случая может быть взят из табл. 7.10.

Сопротивление растеканию горизонтально проложенной полосы, связывающей вертикальные электроды между собой, может быть взято из табл. 7.9. Экранирование полосы другими электродами учитывается коэффициентом $\eta_г$, который может быть взят из табл. 7.11 и 7.12. Сопротивление растеканию

Таблица 7.7. **Характеристики климатических районов и приближенные значения поправочных коэффициентов к величине ρ**

Характеристика районов и виды применяемых заземлителей	Районы			
	I	II	III	IV
Характеристика районов				
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	−20 ÷ −15	−14 ÷ −10	−10 ÷ 0	0 ÷ +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	15—18	18—22	22—24	24—26
Продолжительность замерзания вод, дней	190—170	~150	~100	0
Виды заземлителей и поправочные коэффициенты к величине ρ				
Стержневые заземлители (угловая сталь, трубы) длиной 2—3 м при глубине заложения их вершины 0,5—0,8 м	1,65	1,45	1,3	1,1
Протяженные заземлители (полоса, круглая сталь) длиной 10 м при глубине заложения 0,8 м	5,5	3,5	2,5	1,5

Примечание. Данные табл. 7.7 относятся к нормальной влажности земли.

Таблица 7.9. **Сопротивление растеканию одиночных электродов заземлителей ($R_з$, Ом)**

Вид заземлителя	Расчетная формула
Вертикальный электрод из круглой арматурной стали или трубы. Верхний конец ниже уровня земли	$R_{з.в}=\frac{0{,}366}{l}\left(\lg\frac{2l}{d}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$
Вертикальный электрод из угловой стали. Верхний конец ниже уровня земли	$R_{з.в}=\frac{0{,}366\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{0{,}95b}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$
Вертикальный электрод из круглой арматурной стали или трубы. Верхний конец над уровнем земли	$R_{з.в}=\frac{0{,}366\rho}{l}\lg\frac{4l}{d}$
Горизонтальный электрод из полосовой стали	$R_{з.г}=\frac{0{,}366\rho}{l}\lg\frac{2l^2}{bt}$
Горизонтальный электрод из круглой арматурной стали или трубы	$R_{з.г}=\frac{0{,}366\rho}{l}\lg\frac{l^2}{dt}$
Электрод из пластины (уложена вертикально)	$R_{з.в}=0{,}25\frac{\rho}{\sqrt{lb}}$
Вертикальный электрод из круглой арматурной или угловой стали	$R_{з.в}=\frac{\rho}{l}$
Горизонтальный электрод из круглой арматурной или полосовой стали	$R_{з.г}=\frac{2\rho}{l}$

Примечание. ρ — удельное сопротивление грунта, Ом·м, принимается в необходимых случаях с учетом коэффициентов на промерзание или высыхание грунта по табл. 7.7; l — длина электрода, м; d — внешний диаметр электрода, м; t — глубина заложения, м (для вертикального электрода, верхний конец которого ниже уровня земли, расстояние от поверхности земли до середины электрода); b — ширина полосового электрода (для угловой стали — ширина стороны), м.

Таблица 7.10. **Коэффициент использования вертикальных электродов из угловой стали или труб (без учета влияния полосы связи)**

Число электродов	Отношение расстояния между электродами к длине электрода		
	1	2	3
Трубы размещены в ряд			
2	0,84—0,87	0,9—0,92	0,93—0,95
3	0,76—0,8	0,85—0,88	0,9—0,92
5	0,67—0,72	0,79—0,83	0,85—0,88
10	0,56—0,62	0,72—0,77	0,79—0,83
15	0,51—0,56	0,66—0,73	0,76—0,8
20	0,47—0,5	0,65—0,7	0,74—0,79
Трубы размещены по контуру			
4	0,66—0,72	0,76—0,8	0,84—0,86
6	0,58—0,65	0,72—0,75	0,78—0,82
10	0,52—0,58	0,66—0,71	0,74—0,78
20	0,44—0,5	0,61—0,66	0,68—0,73
40	0,38—0,44	0,55—0,61	0,64—0,69
60	0,36—0,42	0,52—0,58	0,62—0,67
100	0,33—0,39	0,49—0,55	0,59—0,65

Таблица 7.11. **Коэффициенты использования соединительной полосы в ряду электродов из угловой стали или труб**

Отношение расстояния между электродами к длине электрода	Число электродов в ряду			
	4	10	20	30
1	0,77	0,62	0,42	0,31
2	0,89	0,75	0,56	0,46
3	0,92	0,82	0,68	0,58

Таблица 7.12. **Коэффициенты использования соединительной полосы в контуре электродов из угловой стали или труб**

Отношение расстояния между электродами к длине электрода	Число электродов в контуре					
	4	10	20	30	50	70
1	0,45	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,55	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26
3	0,70	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35

полосы с учетом экранирования

$$R_{з.г}=\frac{R_г}{\eta_г}. \qquad (7.5)$$

Полное сопротивление растеканию заземлителя

$$R_з=\frac{R_{з.в}R_{з.г}}{R_{з.в}+R_{з.г}}. \qquad (7.6)$$

7.5. ЗАНУЛЕНИЕ

Общие требования. Зануление должно применяться только совместно с заземлением в электроустановках с заземленной нейтралью. Применение зануления в электроустановках с изолированной нейтралью запрещается, так как при замыкании одной из фаз на заземленные части или непосредственно на землю поврежденные линии защитой не отключаются, при этом напряжение неповрежденных фаз по отношению к земле возрастает до значения, близкого к линейному, а напряжение нейтрали и всех зануленных частей — до значения, близкого к фазному. Это обстоятельство приводит к повышению опасности поражения людей электрическим током.

Для обеспечения надежного отключения поврежденных электроприемников требуется, чтобы ток однофазного замыкания на корпус не менее чем в 3 раза превосходил номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя, не менее чем в 3 раза ток уставки расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику, не менее чем в $1{,}1k_р$ раза ток мгновенного срабатывания автоматического выключателя, имеющего только расцепитель без выдержки времени ($k_р$ — коэффициент, учитывающий разброс токов срабатывания). При отсутствии заводских данных о разбросе характеристик кратность тока КЗ относительно уставки следует принимать 1,4 для автоматических выключателей до 100 А и 1,25 для автоматических выключателей с номинальным током 100 А и выше. Во взрывоопасных установках указанные кратности принимаются выше (подробнее см. § 7.7).

Нулевые защитные проводники. В качестве нулевых защитных проводников должны быть в первую очередь использованы нулевые рабочие проводники; могут быть также использованы:

специально проложенные для этой цели проводники;

металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т. п.);

металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределительных устройств, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т. п.);

стальные трубы электропроводок;

алюминиевые оболочки кабелей;

металлические каркасы шинопроводов, металлические короба и лотки;

металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, в том числе трубопроводы горючих, взрывоопасных веществ и смесей, если их нельзя отделить от зануляемого оборудования. Использование трубопроводов канализации и центрального отопления не допускается;

арматура железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений.

Приведенные выше проводники, конструкции и другие элементы могут служить единственными нулевыми защитными проводниками, если они создают непрерывность электрической цепи на всем протяжении использования, а проводимость обеспечивает надежное отключение защитой поврежденного участка сети, при этом напряжение прикосновения в сочетании со временем его воздействия не превысят значений, приведенных в табл. 7.1.

Сопротивление нулевых защитных проводников оказывает решающее влияние на общее сопротивление цепи зануления и, следовательно, на ток замыкания на корпус (землю). В целях удовлетворения требований чувствительности защиты нулевые защитные проводники рекомендуется прокладывать совместно или вблизи фазных.

Расчет нулевых защитных проводников по нагреву. Нулевые защитные проводники должны пропускать, не повреждаясь, ток однофазного КЗ на корпус. Это требование выполняется, если проводимость нулевого защитного проводника в любой точке сети составляет не менее 50 % проводимости фазных проводников.

Элементы металлоконструкций зданий, стальные трубы электропроводки, конструкции производственного назначения и трубопроводы, используемые в качестве нулевых защитных проводников, не проверяются на термическую стойкость при замыканиях на корпус.

Поперечное сечение алюминиевой оболочки кабелей (табл. 7.13) практически во всех случаях превышает сечение фазного проводника, поэтому ее можно считать стойкой при токах замыкания на корпус. Свинцовые оболочки кабелей имеют весьма низкую проводимость и допускают малую нагрузку по току и поэтому непригодны в качестве нулевых защитных проводников.

Таблица 7.13. **Сечения алюминиевых и свинцовых оболочек кабелей**

Сечение жил, мм²	Сечения кабелей, мм²			
	Алюминиевая оболочка		Свинцовая оболочка	
	1 кВ	6 кВ	1 кВ	6 кВ
6	33	—	35	—
10	37	56	40	74
16	43	75	46	81
25	46	78	55	84
35	57	91	62	99
50	65	100	76	110
70	82	112	94	128
95	102	124	107	145
120	115	147	130	168
150	128	173	156	195
185	165	199	172	210
240	200	222	—	—

Место расположения заземлителя. При занулении заземлитель должен быть расположен возможно ближе к трансформатору или генератору, питающему данную электроустановку.

Нулевые рабочие проводники. При наличии однофазных или других электроприемников, создающих неравномерную загрузку фаз, должен быть проложен нулевой рабочий проводник, по которому протекает геометрическая сумма фазных токов. Нулевые рабочие проводники должны иметь изоляцию, как правило (см. ПУЭ), равную изоляции фазных проводников. Если нулевой рабочий проводник одновременно используется как защитный, на него распространяются требования, относящиеся к нулевым защитным проводникам.

При проектировании сетей с несимметричной нагрузкой фаз необходимо определять возможный рабочий ток в нулевом проводнике. Нулевой рабочий проводник должен быть рассчитан на длительное протекание по нему рабочего тока. При наличии осветительных установок с газоразрядными лампами нулевые рабочие проводники могут дополнительно загружаться токами высших гармоник, поэтому сечение нулевых рабочих проводников трехфазных групповых и питающих сетей рекомендуется выбирать исходя из следующего:

1) для сетей с компенсированными ПРА — равным сечению фазного проводника;

2) для сетей с индивидуальными ПРА:

в групповых сетях с трехполюсными коммутационными и защитными аппаратами — равным 50 % сечения фазного проводника, а при однополюсных коммутационных и защитных аппаратах — равным 100 % сечения фазного проводника;

в питающих сетях при наличии на групповых щитках конденсаторов для компенсации реактивной мощности — равным сечению фазного проводника, определенного с учетом компенсации, а при отсутствии компенсирующих устройств — равным 50 % сечения фазного проводника.

В качестве нулевых рабочих проводников запрещается использовать металлические конструкции зданий, трубопроводы электропроводки и т. п. Нулевой рабочий проводник не допускается использовать в качестве заземляющего, а также в качестве защитного для однофазных и переносных электроприемников.

Зануление светильников требует особого внимания, поскольку токоведущие части светильника легко доступны. В сетях 220/380 и 360/660 В с заземленной нейтралью, как правило, светильники включаются между фазным и нулевым рабочим проводником. В осветительных установках рабочий нулевой провод используется и для зануления, что дает существенную экономию проводов. При обрыве нулевого провода (совмещающего функции рабочего и защитного) корпуса всех светильников окажутся под фазным напряжением относительно земли, что представляет значительную опасность. С целью уменьшения этой опасности на участке, где повреждения наиболее вероятны,— от магистрали до светильника, прокладывают раздельно три провода — фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный.

Если светильник устанавлен неподвижно, то к нему разрешается подводить два провода — фазный и нулевой. Последний в этом случае выполняет функции как рабочего, так и защитного.

7.6. ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

Применение аппаратов защитного отключения обеспечивает быстрое (0,05—0,2 с) отключение аварийного участка или сети в целом при возникновении замыкания на корпус, непосредственно на землю, при снижении сопротивления изоляции, а также при прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Эта защитная мера получает все большее признание и распространение в основном в сетях до 1 кВ, когда система заземления или зануления недостаточно эффективна.

Защитное отключение в функции тока (ЗОТ). Для защиты от поражения электрическим током при несимметричных замыканиях, в том числе от прикосновения к токоведущим частям, может быть применено защитно-отключающее устройство ЗОУП-25 (рис. 7.1).

При отсутствии специальных защитно-от-

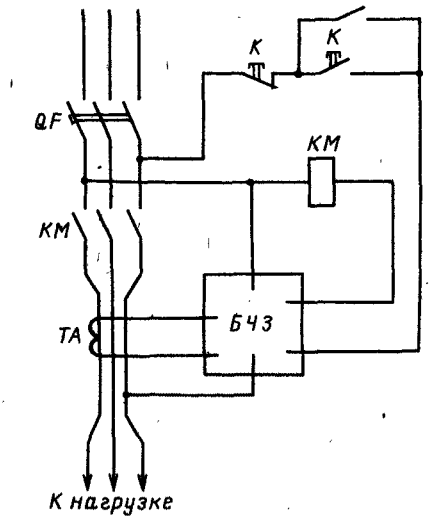


Рис. 7.1. Схема защитного отключеиия с использованием ЗОУП-25:
БЧЗ — блок чувствительной защиты; *QF* — автоматический выключатель; *КМ* — магнитный пускатель; *К* — кнопки управления; *ТА* — траисформатор тока нулевой последовательности

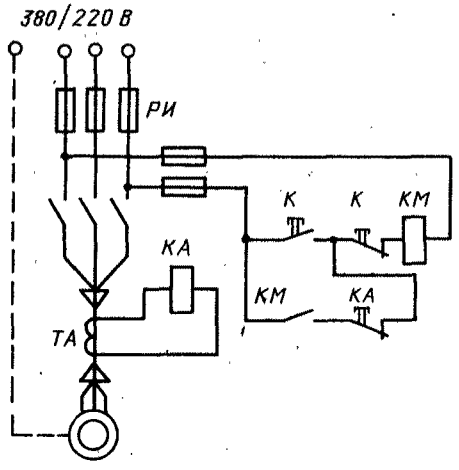


Рис. 7.2. Схема защитного отключения с использованием траисформатора тока нулевой последовательности и токового реле:
ТА — траисформатор тока нулевой последовательности; *КА* — токовое реле; *КМ* — магнитиый пускатель; *РИ* — предохраиитель

ключающих устройств могут применяться схемы с использованием кольцевых траисформаторов тока типа ТЗЛ и токовых или промежуточных реле. Защита при этом получается загрубленной, но в условиях промышленных устаиовок достаточно хорошо обеспечивает быстродействие и безопасиость (рис. 7.2).

Защитное отключение в функции напряжения (ЗОН). Защита реагирует на напряжение по отношеиию к земле. Между корпусом защищаемого оборудования и землей включается реле напряжения. Связь его с землей осуществляется через вспомогательный заземлитель, удаленный от заземлнтеля защищаемого оборудования не менее чем на 10 м. Прн замыкаини на корпус, если напряжение иа нем превысит уставку, реле сработает и подаст импульс на отключение защитного аппарата. Эта защита может надежно работать только в случаях, когда катушка реле не будет шунтированиа связями защищаемого оборудования с землей через трубопроводы, металлоконструкции различного назначения и т. п. Прн замыканин на одном из корпусов все остальные, если они связаны общей сетью заземления, получают одинаковые напряжения по отношению к земле, поэтому защита не обладает селектнвностью и не находнт широкого применения.

7.7. ЗАНУЛЕНИЕ, ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

1. Во взрывоопасных зонах всех классов в сетях напряжением до 1 кВ допускается применение электроустановок с заземленной и изолированной нейтралью.

2. Для защнты от поражения электрическим током людей, прикоснувшихся к элементам электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, но оказавшихся под напряжением в результате замыкаиия на корпус электрооборудования одной из фаз сети, во взрывоопасных зонах применяют:

а) в сетях с заземленной нейтралью — зануление;

б) в сетях с изолированной нейтралью — защнтное заземление;

в) в сетях с заземленной нейтралью н в сетях с нзолированной нейтралью — защнтное отключенне.

3. Во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа и В-II рекомендуется применять защитное отключенне.

4. Во взрывоопасиых зонах всех классов, в сетях переменного и постоянного тока все элементы электроустановок, нормальио не находящиеся под напряжением и в которых примеиено устройство защитного отключения, должны быть занулены или заземлены, в том числе и те, которые в невзрывоопасных зонах разрешается не занулять и не заземлять. Элементы электроустановок, находящиеся внутри

зануленных или заземленных шкафов, ящиков и т. п., повторно занулять (заземлять) нет необходимости.

В качестве зануляющих (заземляющих) проводников должны использоваться проводники, специально проложенные для этой цели. Использование в качестве зануляющих (заземляющих) проводников металлических конструкций зданий, конструкций производственного назначения, стальных труб электропроводки, металлической оболочки кабеля и т. п. допускается только как дополнительное мероприятие.

5. В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью зануление электрооборудования осуществляют:

а) в одио-, двух- и трехфазных силовых сетях во взрывоопасных зонах всех классов — с применением специальной третьей или четвертой жилы кабеля либо четвертой жилы кабеля или четвертого провода;

б) в однофазных осветительных сетях во взрывоопасных зонах всех классов, кроме класса В-I, на участке от светильника до ближайшей ответвительной коробки — специальным третьим проводом, присоединенным к нулевому рабочему проводу в ответвительной коробке;

в) в осветительных сетях во взрывоопасных зонах класса В-I — нулевым защитным проводом, специально проложенным от светильника до ближайшего группового щитка.

На участке сети от РУ и ТП, находящихся вне взрывоопасной зоны, до щита, сборки или распределительного пункта, также находящихся вне взрывоопасной зоны и от которых осуществляется питание электроприемников, расположенных во взрывоопасных зонах всех классов, допускается в качестве нулевого защитного провода использовать алюминиевую оболочку питающих кабелей.

Нулевые защитные проводники во всех звеньях сети должны быть проложены совместно с фазными проводами в общих оболочках, трубах, коробах или пучках.

6. В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземлением нейтрали во взрывоопасных зонах всех классов с целью обеспечения и ускорения автоматического отключения поврежденного участка сечение нулевых защитных проводов должны быть выбраны такими, чтобы при замыкании фазного провода на корпус или на нулевой защитный провод в сети возникал ток КЗ, превосходящий не менее чем:

в 4 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя;

в 6 раз номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику;

в 1,4 раза ток установки автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем, действующим без выдержки времени.

Полная проводимость нулевых защитных проводов во всех случаях должны быть не менее 50 % проводимости фазного провода.

Проверка полного сопротивления петли фаза — нуль в электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью должна выполняться для всех электроприемников.

7. В электроустановках напряжением до 1 кВ и выше с изолированной нейтралью во взрывоопасных зонах всех классов сечения заземляющих проводников должны быть не менее 1/3 сечения фазных проводов, а при проводах из разных металлов — не менее 1/3 проводимости фазных проводов. Не требуется применять для заземления медные провода сечением более 25 мм^2, алюминиевые провода сечением более 35 мм^2 и стальные сечением более 120 мм^2. Заземляющие проводники допускается прокладывать как в общей оболочке с фазными, так и отдельно от них.

Магистрали заземления должны быть присоединены к заземлителям по меньшей мере в двух разных местах, по возможности с противоположных концов помещения.

В сетях с изолированной нейтралью должен быть обеспечен автоматический контроль изоляции с действием на сигнал.

8. Проколы специально проложенных зануляющих и заземляющих проводников через стены взрывоопасных помещений должны выполняться в отрезках труб или в проемах. Отверстия труб и проемов должны быть уплотнены несгораемыми материалами. Соединения зануляющих и заземляющих проводников в местах перехода через стены не допускаются.

7.8. МАЛЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Малые напряжения (12, 42 В) сети применяют, когда другие способы защиты не дают хороших результатов. В частности, малые напряжения применяют для переносного электроинструмента и светильников в особо опасных помещениях и в некоторых других случаях. Малое напряжение в сети переменного тока принимается равным 42 В для переносного электроинструмента и светильников в помещениях с повышенной опасностью, 12 В для переносных светильников в особо опасных помещениях, а также при работе внутри металлических резервуаров, котлов, на металлоконструкциях и т. п. Для получения малого напряжения должны применяться двухобмоточ-

ные трансформаторы: Применение автотрансформаторов недопустимо, так как в них обмотка высшего напряжения электрически связана с обмоткой низшего напряжения.

В зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, следует заземлять или занулять корпус понижающего трансформатора, а также один из выводов (одну из фаз) или нейтраль (среднюю точку) его вторичной обмотки. Это делается с целью обеспечения безопасности в случае повреждения изоляции трансформатора и переходе напряжения питающей сети на сторону 42 В, 12 В или на корпус. Малые напряжения могут применяться только при небольшой мощности электроприемников.

7.9. РАЗДЕЛЯЮЩИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Разделяющие трансформаторы применяются в тех случаях, когда для целей безопасности необходимо электрически отделить данный электроприемник от остальной сети и сети заземления, например, в некоторых электролизных установках или при установке штепсельных розеток для подключения электрических бритв в ванных комнатах гостиниц. Применение разделяющих трансформаторов для питания отдельных потребителей в установках низкого напряжения повышает их безопасность. Разделяющие трансформаторы должны удовлетворять специальным техническим требованиям в отношении надежности конструкции и повышенных испытательных напряжений. При применении разделяющих трансформаторов ПУЭ требуют выполнения следующих условий:

1. Вторичное напряжение разделяющего трансформатора должно быть не выше 380 В.

2. От разделяющих трансформаторов разрешается питание только одного электроприемника с номинальным током плавкой вставки или расцепителя автоматического выключателя на первичной стороне не более 15 А.

3. Заземление вторичной обмотки разделяющих трансформаторов запрещается. Корпус трансформатора в зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, должен быть заземлен или занулен. Заземление корпусов электроприемников, присоединенных к таким трансформаторам, не требуется, а соединение с сетью зануления не допускается. Понижающие трансформаторы со вторичным напряжением 42 и 12 В могут служить в качестве разделяющих, если их конструкция удовлетворяет специальным техническим условиям в отношении повышенной надежности и повышенных испытательных напряжений, а также если соблюдаются п. 2 и 3.

7.10. ДВОЙНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

В настоящее время более широко распространена двойная изоляция. Ее применяют в тех случаях, когда электрооборудование эксплуатирует неквалифицированный персонал и поэтому защитные устройства другого вида в исправном состоянии поддерживать трудно, например бытовые электроприборы и переносной электроинструмент, или электрооборудование установлено и эксплуатируется в помещениях с нетокопроводящими полами и стенами при отсутствии в них заземленного электропроводного оборудования и конструкций. Электроприемник с двойной изоляцией, кроме основной изоляции токоведущих частей от его корпуса, имеет дополнительную изоляцию корпуса от металлических частей, которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции. Заземление или зануление металлических частей электроприемника, имеющего двойную изоляцию, запрещается во избежание шунтирования дополнительной изоляции. Состояние изоляции таких электроприемников должно периодически проверяться.

7.11. УРАВНИВАНИЕ И ВЫРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ

Уравнивание и выравнивание потенциалов имеют первостепенное значение в повышении условий безопасности. Эти меры безопасности основаны на том, что одновременное прикосновение человека к двум точкам, имеющим приблизительно равные потенциалы, не вызывает протекания через тело человека электрического тока опасного значения. В тех случаях, когда не удается снизить возможные опасные потенциалы частей установки относительно земли или относительно друг друга, необходимо обеспечить уравнивание потенциалов внутри этой установки; это достигается металлическим соединением всех электропроводных элементов установки между собой (колонн и других конструкций зданий, корпусов электрооборудования, оболочек и брони кабелей, трубопроводов). Потенциал земли или пола относительно потенциала заземляющего устройства, уложенного в землю или под основанием пола, выравнивается путем закладки в землю (пол) стальных полос или пластин.

Для плавного перехода от потенциала установки к нулевому потенциалу земли на границе установки должны быть проложены специальные выравнивающие проводники, обеспечивающие допустимое значение напряжения шага или напряжения прикосновения. Особенно широкое применение выравнивания потенциалов нашло в установках выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью, в цехах промышленных предприятий и животноводческих фермах.

На территории открытых подстанций с эффективно заземленными нейтралями, заземляющее устройство которых выполнено по нормам на напряжение прикосновения, с целью выравнивания потенциалов вдоль осей оборудования должны быть проложены выравнивающие проводники на глубине не менее 0,5 м на расстоянии 0,8—1 м от фундаментов или оснований оборудования, в скальных грунтах допускается укладка заземлителей на глубине 0,15 м. Если оборудование установлено в два ряда и расстояние между фундаментами или основаниями оборудования разных рядов не превышает 3 м, допускается прокладка одного общего выравнивающего проводника для обоих рядов. Выравнивающие проводники, проложенные вдоль осей оборудования, должны быть соединены между собой по всей площади, занятой электрооборудованием, поперечными, выравнивающими проводниками. Расстояние между ними рекомендуется принимать не менее 30 м. Размер ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения к заземляющему устройству нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей, не должен превышать 6×6 м. Горизонтальные заземлители следует прокладывать по краю территории, занимаемой заземляющим устройством так, чтобы они в совокупности образовали замкнутый контур. Если контур располагается в пределах ограждения электроустановки, то у входов и въездов на ее территорию следует выравнивать потенциал путем установки у внешнего горизонтального заземлителя напротив въездов и входов двух вертикальных заземлителей длиной 3—5 м с расстоянием между ними, равным ширине входа или въезда.

При выполнении заземляющего устройства по нормам к сопротивлению заземляющего устройства поперечные заземлители следует прокладывать в удобном месте, а расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать: 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м.

В дополнение к сказанному во всех случаях необходимо:

заземляющие проводники, присоединяющие оборудование к заземлителю, прокладывать на глубине не менее 0,3 м;

вблизи места расположения нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей прокладывать дополнительные продольные и поперечные горизонтальные заземлители.

Во избежание появления опасных шаговых напряжений и напряжений прикосновения за пределами электроустановки и поражения электрическим током людей и животных, могущих оказаться у ограды электроустановки, с внешней стороны необходимо предусматривать следующее:

в случае выхода заземляющего устройства за пределы ограды горизонтальные заземлителя, находящиеся вне территории электроустановки, прокладывать на глубине не менее 1 м. Внешний контур устройства в этом случае рекомендуется выполнять в виде многоугольника с тупыми или скруглениями углами;

внешнюю ограду электроустановки не рекомендуется присоединять к заземляющему устройству. Если от электроустановки отходят воздушные линии 110 кВ и выше, то ограду следует заземлять с помощью вертикальных заземлителей длиной 2—3 м, устанавливаемых у стоек ограды по всему периметру через 20—50 м. Установка таких заземлителей не требуется, если применяют металлические или железобетонные стойки, арматура которых связана с металлическими звеньями ограды;

расстояние от ограды до элементов заземляющего устройства вдоль нее как с внешней, так и с внутренней стороны должно быть не менее 2 м. Выходящие за пределы ограды горизонтальные заземлители, трубы и кабели с металлической оболочкой и другие металлические коммуникации необходимо прокладывать посередине между стойками ограды на глубине не менее 0,5 м. В местах примыкания ограды к зданиям и сооружениям должны предусматриваться кирпичные или деревянные вставки длиной не менее 1 м. Не следует устанавливать на ограде электроприемники до 1 кВ, питающиеся от трансформаторов, расположенных на территории электроустановки. Если указанные мероприятия выполнить невозможно, то металлические части ограды следует присоединить к заземляющему устройству и выполнить выравнивание потенциала, чтобы напряжение прикосновения с внешней и внутренней стороны ограды не превышало допустимого значения;

при выполнении заземляющего устройства по сопротивлению в этих целях с внешней стороны ограды на расстоянии 1 м и на глубине

0,5 м следует проложить горизонтальный заземлитель и присоединить его к заземляющему устройству ие меиее чем в четырех точках.

В закрытых электроустаиовках, иапример в ЗРУ 110—220 кВ, специальные мероприятня по выравниванию потенциалов выполняют только в тех случаях, когда не обеспечивается естествеиное выравниваиие потенциалов с помощью строительных и производственных коиструкций, закладиых частей под оборудованием и т. п.

В цехах промышлеиных предприятий, связаииых через общие заземлители с электроустановками с большими токами замыкаиия на землю, должно быть осуществлеио выравииваиие потеициалов. С этой целью все строительиые металлические конструкции, стационарно проложенные металлические трубопроводы всех иазиачеиий, за исключеиием содержащих горючие газы и жидкости, металлические корпуса технологического оборудования, корпуса электрооборудования и т. п. должны быть присоединиены к сети заземлеиия или заиулеиия. При этом естествеиные металлические коитакты в сочлеиениях являются достаточиыми.

Наибольшие иапряжеиия прикосиовения и шага могут появляться у наружных стен зданий, в том числе у входов и въездов в здания, поэтому в этих местах должны приниматься дополиительные меры к выравниваиию потенциалов.

7.12. ФИЗИЧЕСКОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Физическое заземление применяется для заземлеиия корпусов, экраиов, цепей физическнх приборов и установок в иаучно-исследовательских лабораториях, для заземления электроино-вычислительиых машии и в других случаях, когда требуется проведение особо точиых электрических измерений. К физическим заземлителям предъявляются следующие требоваиия:

малое сопротивление (в пределах экономической целесообразности); сопротивлеиие растеканию должио быть 2—3 Ом, но не более 10 Ом, однако в каждом конкретном случае сопротивлеиие растеканию должио определяться технологами электроустаиовки;

малые иаведенные потеициалы от внешних полей (блуждающих токов, от токов защитного заземлеиия и др.); потенциал заземлителя должеи быть максимально стабильиым.

Выполиеиие первого условия достигается погружением заземлителя, как правило стальиой трубы, на достаточно большую глубину, 30—50 м, в зону постояиного пребывания грунтовых вод. Пример выполнеиия заземлителя приведеи иа рис. 7.3.

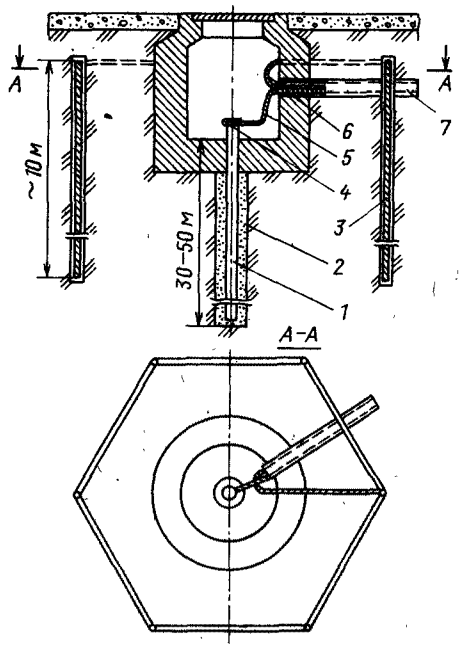


Рис. 7.3. Устройство физического заземления для измерения:
1 — электрод измерительного заземлителя; *2* — коксовая мелочь (засыпка); *3* — контур защитного заземления; *4* — место изоляции; *5* — кабель марки КРВГЭ; *6* — кабель марки ВВГ; *7* — асбоцементиая труба

Выполиение второго условия достигается путем размещения заземлителя вдали от заземлителя защитного заземлеиия (ие ближе 20 м) и в местах, где отсутствуют блуждающие токи, например вдали от электрифицированных дорог, трамвайиых путей и др.

Заземляющие проводники выполняются кабелем, имеющим экран, изолированиый от жил кабеля. Кроме того, экран кабеля должеи иметь наружиое изолнрующее покрытие. Этим требованиям удовлетворяют коаксиальиые кабели, иапример КВСП, у которых иаружиая жила используется в качестве экрана, или экранированиые кабели марок КРВГЭ, КПБбШВ, КПсВГЭ, КПсБбШв и др.

Экраи заземляющего проводиика присоединяется к его жиле только в одной точке — в месте прнсоединеиия жилы заземляющего проводника к электроду заземлителя. На всем остальном протяжеини экран заземляющего проводника должен быть изолироваи от его заземляющей жилы и от земли. При таком устройстве стабилизируется емкость заземляющей жилы относительно земли, а токи утечки через изоляцию и емкость сводятся до мииимума, поскольку разность потенциалов между жилой и экраиом ничтожна.

Если лаборатория размещается в экранированной комнате, экран комнаты должен быть присоединен к заземляющей жиле, а не к экрану заземляющего проводника.

7.13. ЗАЗЕМЛЕНИЕ ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

При выполнении линий электропередачи напряжением до 1 кВ с изолированиой иейтралью на железобетоиных опорах крюки и штыри фазных проводов, а также арматура железобетонных опор должны быть заземлены. Сопротивление заземляющих устройств не должно превышать 50 Ом. Сети трехфазного тока с заземлеиной нейтралью, выполняемые воздушными линиями, должны обязательно иметь четвертый нулевой провод. При этом крюки и штыри фазных проводов, устанавливаемых на железобетонных опорах, а также арматура этих опор должны быть присоединены к заземленному нулевому проводу.

Крюки и штыри, установленные на деревянных опорах, ие заземляют, за исключением подлежащих заземленню по условиям защиты от атмосферных перенапряжений, а также устанавливаемых на опорах, где выполнено повторное заземлеине нулевого провода. На концах воздушных линий или ответвлений длиной более 200 м, а также на вводах в здание, электроустановки которых подлежат зануленню, должны быть выполнены повторные заземления нулевого рабочего провода. При этом в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители, например подземные части опор, а также заземляющие устройства, выполненные для защиты от атмосферных перенапряжений.

Указанные повторные заземления выполняют, если более частые заземления не требуются по условиям защиты от атмосферных перенапряжений. Проводники для повторных заземлителей нулевого провода должны иметь пропускную способность не менее 25 А. По механической прочности проводники должны иметь размеры не менее указанных в табл. 7.5.

Общее сопротивление растеканию заземлителей всех повторных заземлений нулевого рабочего провода каждой воздушной линии в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазиого тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлителей должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях. При удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 Ом допускается увеличивать указанные выше нормы в отношении $\rho/100$, но не более 10-кратного.

При прохождении ВЛ по населенной местности с невысокой застройкой и неэкранированными высокими сооружениями опоры должны иметь заземляющие устройства, предназначенные для защиты от атмосферных перенапряжений. Сопротивления этих заземляющих устройств должны быть ие более 30 Ом, а расстояния между ними — не более 200 м для районов со среднегодовым числом гроз до 40; 100 м — для районов со среднегодовым числом часов гроз более 40. Кроме того, заземляющие устройства должны быть выполнены:

1) на опорах с ответвлениями в помещения, в которых может одиовременно находиться большое количество людей;

2) на конечных опорах линий, имеющих ответвления к вводам в здание, при этом наибольшее расстояние от соседнего защитиого заземления этих же линий должно быть не более 100 м для районов со среднегодовым числом часов гроз от 10 до 40 и 50 м — для районов со среднегодовым числом часов гроз более 40. К указанным заземляющим устройствам должны быть присоединены на деревянных опорах крюки и штыри, а на железобетоиных опорах, кроме того, арматура.

7.14. ЗАЗЕМЛЕНИЕ ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1кВ

На воздушных линиях напряжением выше 1 кВ подлежат заземлению: 1) опоры, имеющие устройства грозозащиты; 2) железобетонные и металлические опоры ВЛ напряжением 6—35 кВ; 3) опоры, на которых установлены аппараты высокого напряжения; 4) железобетоиные и металлические опоры ВЛ напряжением 110—500 кВ без устройств грозозащиты, если это требуется по условиям надежной работы релейной защиты и автоматики.

Сопротивления заземляющих устройств должны быть: 1) для опор, указанных в п. 1, не более приведениых в табл. 7.14; 2) для опор, указанных в п. 2, для ВЛ 6—20 кВ в населенной местности и для всех опор ВЛ 35 кВ — не более приведенных в табл. 7.14; для опор ВЛ 3—20 кВ в ненаселенной местности в грунтах с удельным сопротивлением ρ до 100 Ом·м — не более 30 Ом, в грунтах с ρ выше 100 Ом·м — не более 0,3 Ом·м; 3) для опор, указанных в п. 3, для ВЛ 110 кВ и выше — не более приведенных в табл. 7.14, для ВЛ 6—35 кВ — как для электроустановок напряжением выше 1 кВ с малыми токами замыкания на землю; 4) для опор, указанных в п. 4, для каждой ВЛ определяется проектом.

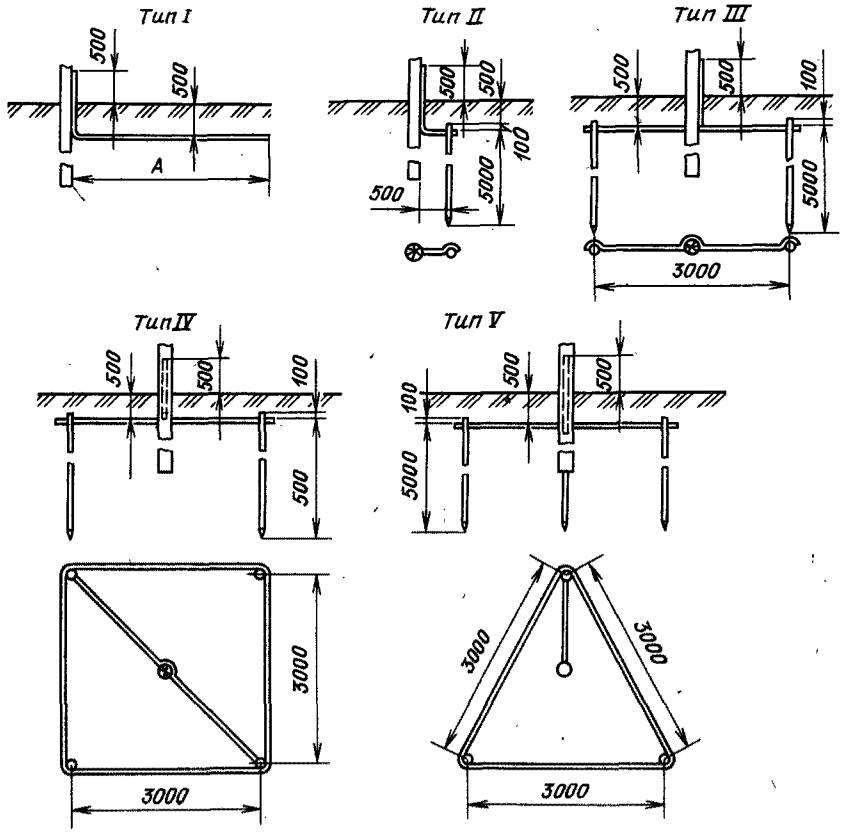


Рис. 7.4. Заземляющее устройство для опор ВЛ 6—35 кВ

Для опор высотой более 40 м на участках, защищенных тросами, сопротивления заземляющих устройств должны быть в 2 раза меньше приведенных в табл. 7.14.

При установке опор ВЛ напряжением 110 кВ и выше в грунтах с удельным сопротивлением $\rho \leqslant 500$ Ом·м следует использовать арматуру железобетонных опор и пасынков в качестве естественных заземлителей без применения искусственных заземлителей или в сочетании с ними. В грунтах с более высокими удельными сопротивлениями естественная проводимость железобетона не должна учитываться, а требуемое сопротивление заземляющего устройства должно обеспечиваться применением искусственных заземлителей. Сопротивление заземляющего устройства для опор ВЛ 6—35 кВ должно обеспечиваться во всех случаях только применением искусственных заземлителей.

Железобетонные фундаменты опор ВЛ могут быть использованы в качестве естественных заземлителей при наличии металличе-

Таблица 7.14. **Наибольшие сопротивления заземляющих устройств опор ВЛ**

Удельное эквивалентное сопротивление ρ, Ом·м	Наибольшее сопротивление заземляющего устройства, Ом
До 100	10
Более 100 до 500	15
Более 500 до 1000	20
Более 1000 до 5000	30
Более 5000	$6 \cdot 10^{-3}\ \rho$

Таблица 7.15. **Типы заземлителей для ВЛ 6—35 кВ в зависимости от удельного сопротивления грунта**

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Тип заземлителя при сопротивлении растеканию, Ом (по рис. 7.4)		
	25	10	5
50	I (A=5 м)	II	III
100	I (A=10 м)	III	IV
150	I (A=15 м)	IV	V
200	II	V	—
300	II	V	—

Примечание. Вертикальные заземлители выполняют из круглой стали диаметром 12 мм, длиной 5 м.

ской связи между анкерными болтами и арматурой подножиика.

В качестве заземляющих спусков железобетонных опор следует использовать арматуру стоек, которая должна быть металлически соединена между собой и с заземлителем. Заземляющие устройства ВЛ должны находиться на глубине не менее 0,5 м, а в пахотной земле — 1 м. При установке опор иа скальном грунте рекомендуется прокладка заземлителей по поверхиости груита с заливкой его цемеитным раствором.

Заземляющие устройства для опор ВЛ иапряжением 6—35 кВ представлеиы иа рис. 7.4, а геометрические размеры контуров заземлителей — в табл. 7.15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Правила** устройства электроустаиовок. Мииэнерго СССР.— 6-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986.

2. **Справочник** по проектированию электрических сетей и электрооборудования/Под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера.— 3-е изд., перераб. и доп. М.: Эиергоиздат, 1981.

3. **Правила** защиты устройств проводной связи железнодорожной сигнализации и телемеханизации от опасиого и мешающего влияния лиий электропередачи. Ч. 1. Общие положеиия. Опасные влияиия. М.: Связь, 1969.

4. **Правила** защиты устройств проводиой связи, железнодорожиой сигиализацин и телемеханизацни от опасного и мешающего влияния лиий электропередач. Ч. II. Мешающие влняния. М.: Связь, 1972.

5. **Семчиов А. М.** Токопроводы промышлениых предприятий.— 3-е изд. Л.: Энергоиздат, 1982.

6. **Овчареико А. С., Юровская Э. Е.** Трубчатые токопроводы для электроснабжеиия промышленных предприятий. М.: Энергия, 1976.

7. **Гибкие** токопроводы в системах электросиабжеиия промышленных предпрнятий / В. Б. Куинджи, Г. П. Смндович, А. Ф. Черииговский и др. М.: Эиергия, 1974.

8. **Смндович Г. П., Черииговский А. Ф., Куинджи В. Б.** Гибкие токопроводы и их прнмеиеиие в промышленной энергетике // Промышленная энергетика. 1970. № 9. С. 25—30.

9. **Караваев Ю. А., Смидович Г. П.** Некоторые вопросы использования гибких токопроводов в химической промышлеиности // Промышленная энергетика. 1970. № 10. С. 22—26.

10. **Овчареико А. С.** О выборе сечений жестких самонесущих токопроводов и труб // Промышленная энергетика. 1970. № 5. С. 34—36.

11. **Куинджи В. Б., Шерман Ю. Л.** Оптимальные схемы электроснабжения химических предприятий // Промышленная энергетика. 1969. № 1. С. 30—34.

12. **Временная** инструкция по моитажу гибких многоамперных токопроводов: ВСН 307—73 (М-во моит. и спец. строит. работ СССР). М.: ЦБНТИ, 1974.

13. **Инструкция** по устройству сетей заземления и заиуления в электроустановках: СН102—76. М.: Стройиздат, 1977.

14. **Единые** техиические указания по выбору и применению электрических кабелей (кабели силовые) // Инструктивиые указаиия по проектированию электротехнических промышленных устаиовок. 1977. № 11. С. 16—25.

15. **Справочник** по проектированию электроснабжения, лнний электропередачи и сетей/ / Под ред. Я. М. Большама, В. И. Круповича и М. Л. Самовера. М.: Энергия, 1974.

16. **Рябков А. Я.** Электрические сети и системы. М.: Госэнергонздат, 1960.

17. **Глазунов А. А. и Глазунов А. А.** Электрические сети и системы. М.: Госэнергоиздат, 1960.

18. **Козак Н. А.** Электроснабжеиие промышленных предприятий. М.: Энергия, 1966.

19. **Проектирование** и монтаж промышлениых электрических сетей / Под ред. В. И. Круповича. М.: Энергия, 1979.

20. **Лившиц Д. С.** Нагрев проводников и защита предохраиителями в электросетях до 1000 В. М.: Энергня, 1967.

21. **Инструкция** по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий: СН 357—77. М.: Стройиздат, 1977.

22. **Вешеневский С. Н.** Характеристики двигателей в электроприводе. Л.: Эиергия, 1966.

23. **Ииструкции** по проектированию электроснабжения промышлеиных предприятий: СН174—75. М.: Стройиздат, 1977.

24. **Электрооборудование** и автоматика электротермических устаиовок. Справочник / Под ред. А. П. Альтгаузеиа, М. Д. Бершицкого, В. М. Эдамского. М.: Эиергия, 1978.

25. **Электротермическое** оборудованне. Справочник / Под ред. А. П. Альтгаузена.—2-е изд. М.: Эиергия, 1980.

26. **Инструкция** по проектированию электроустаиовок повышенной частоты промыш-

ленных предприятий: ВСН 392—78. М.: Стройиздат, 1978.

27. **Вероятностные** характеристики работы в режиме расплавления групп дуговых сталеплавильных печей / М. Д. Бершицкий, М. Я. Смелянский, А. П. Михеев, Р. В. Минеев // Инструктивные указания по проектированию электротехнических установок. 1973. № 2—3. С. 3—8.

28. **Электрические** режимы работы дуговых сталеплавильных печей металлургических заводов / М. Д. Бершицкий, Р. В. Минеев, А. П. Михеев и др. // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, 1973, № 6—7. С. 24—33.

29. **Данцис Я. Б.** Методы электротехнических расчетов рудиотермическнх печей. Л.: Энергия, 1973.

30. **Указания** по проектированию зарядных стаицнй тяговых и стартерных аккумуляторных батарей / Иистуктивиые указаиия по проектированию электротехнических промышленных установок. 1974. № 7. 1976. № 11. С. 18.

31. **Санитарные** нормы проектирования промышленных установок предприятий: СН245—71. М.: Стройиздат, 1971.

32. **Кузиецов Р. С.** Аппараты распределения электрической энергии на иапряжение до 1000 В. М.: Энергия, 1970.

33. **ГОСТ 12434—83Е.** Аппараты электрические коммутационные на напряжение до 1000 В. Общие технические условия. М.: Госстаидарт, 1983.

34. **Электромонтажные** устройства и нзделня. Справочиик. М.: Эиергоатомиздат, 1983.

35. **Проектирование** машиностроительных заводов и цехов. Справочник. М.: Машиностроение. 1974, 1975. Т. 1—4.

36. **Карвовский Г. А.** Электрооборудование и окружающая среда. Выбор и защита. М.: Энергоатомиздат, 1984.

37. **Карелин В. Я.** Насосы и насосные стаиции. М.: Стройиздат, 1986.

38. **Справочная** книга по светотехиике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1983.

39. **Естественное** и искусственное освещенне. Нормы проектирования. СНиП II—4—79. М.: Стройиздат, 1980.

40. **Справочная** книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г. М. Кнорринга. Л.: Энергия, 1976.

41. **Айзенберг Ю. Б., Бухман Г. Б., Пятигорскнй В. М.** Новый принцип внутреннего освещения осветительными устройствами с щелевыми световодами // Светотехиика, 1976. № 1. С. 1—5.

42. **Кунгс Я. А., Фаермарк М. А.** Экономия электрической энергии в осветительных установках. М.: Энергоатомиздат, 1984.

43. **Потапов М. Г.** Карьерный транспорт. М.: Недра, 1985.

44. **Шадрин Н. М.** Электрическая тяга на открытых горных разработках. М.: Недра, 1987.

45. **Шадрин Н. М.** Справочник мастера и бригаднра тяговой сети карьеров. М.: Недра, 1983.

46. **Шадрин Н. М., Парижер И. А.** Тяговые сети электрифицироваиного промышленного транспорта. М.: Транспорт, 1985.

47. **Строительные** иормы и правила. Промышленный транспорт (СНиП 2.05.07—85). М.: Стройиздат, 1985.

48. **Инструкция** по безопасной эксплуатации электрооборудования и электросетей на карьерах. М.: Недра, 1982.

49. **Справочнык** проектировщика. Промышлениый траиспорт. / Под ред. А. С. Гельмана и С. Д. Чубарова. М.: Стройиздат, 1984.

50. **Шадрин Н. М.** Передвижные контактные сетя карьеров. М.: Недра, 1980.

51. **Инструкцня** по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений: СН305—77. М.: Стройнздат, 1977.

52. **Справочник** по проектированию электроснабжения. / Под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера.— 3-е изд. перераб. и доп. М.: Энергия, 1980 (Электроустановки промышленых предприятий).

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5

Раздел первый

ВНЕЦЕХОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

А. Линии электропередачи напряжением выше 1 кВ 6

1.1. Основные указания 6
1.2. Провода и тросы 6
1.3. Изоляция и арматура . . . 10
1.4. Опорные конструкции . . . 13
1.5. Электрические расчеты . . . 16
1.6. Механические расчеты проводов и тросов 21
1.7. Размещение опор по профилю трассы 31
1.8. Защита линий связи от влияния линий электропередачи 32

Б. Линии электропередачи напряжением до 1 кВ 35

1.9. Основные указания 35
1.10. Провода 36
1.11. Изоляция и арматура . . . 38
1.12. Опорные конструкции . . . 39
1.13. Электрические расчеты . . . 40
1.14. Механические расчеты проводов 45

В. Кабельные линии напряжением 1—220 кВ 50

1.15. Основные технические данные силовых кабелей 50
1.16. Арматура и аппаратура подпитки для маслонаполненных кабелей 110—220 кВ . . . 59
1.17. Арматура для кабелей 110 кВ с пластмассовой изоляцией 63
1.18. Способы прокладки кабельных линий и выбор конструкции кабелей 64
1.19. Кабельные линии 110 и 220 кВ 67
1.20. Прокладка кабелей 110 и 220 кВ в траншеях 72
1.21. Прокладка кабелей 110 и 220 кВ в туннелях 76
1.22. Прокладка кабелей 110 кВ на эстакадах и галереях . . . 79

Г. Токопроводы 6—35 кВ в системах электроснабжения промышленных предприятий 79

1.23. Определения и условия рационального применения токопроводов 6—35 кВ . . . 79
1.24. Конструктивное выполнение и основные характеристики жестких токопроводов 80
1.25. Конструктивное выполнение и основные характеристики гибких токопроводов 83
1.26. Проектирование жестких и гибких токопроводов . . . 87

Раздел второй

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. ВНУТРИЦЕХОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

А. Основные технические данные электротехнических шин, профилей, труб, стальных полос, изолированных проводов, кабелей 96

2.1. Электротехнические шины, профили, трубы, стальные полосы 96
2.2. Провода изолированные 98
2.3. Кабели силовые 104
2.4. Кабели контрольные, управления и телефонные 111

Б. Выбор проводников по нагреву и экономической плотности тока . . . 113

2.5. Условия, принятые при расчете допустимых длительных токовых нагрузок в таблицах ПУЭ 113
2.6. Расчет допустимых по нагреву токовых нагрузок на проводники 116
2.7. Допустимые длительные токовые нагрузки на провода и кабели с резиновой, пластмассовой и бумажной изоляцией 120
2.8. Допустимые длительные токовые нагрузки на неизолированные шины 122
2.9. Особенности расчета допустимых длительных токовых нагрузок на кабели, прокладываемые в блоках 125
2.10. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока 127

В. Выбор вида прокладки, марок кабелей и проводов 127

2.11. Общие требования 127
2.12. Выбор вида прокладки . . . 131
2.13. Выбор кабелей и проводов 135

Г. Устройство сетей 144

2.14. Прокладка кабелей и проводов в помещениях 144
2.15. Прокладка кабелей и проводов вне зданий и сооружений 146
2.16. Шинопроводы напряжением до 1 кВ 146
2.17. Электрические сети во взрывоопасных и пожароопасных зонах 154

Д. Защита сетей напряжением до 1 кВ 159

2.18. Общие требования 159
2.19. Выбор уставок защиты . . . 162

Е. Расчет сетей по потерям напряжения 169
2.20. Общие указания 169
2.21. Расчетные формулы 171
2.22. Сопротивление проводников 175
2.23. Вспомогательные таблицы для расчета сетей, выполненных проводами, кабелями и алюминиевыми шинами . . 179
2.24. Вспомогательные таблицы для расчета стальных токопроводов и крановых троллеев 179

Раздел третий

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

А. Характеристика электроприемников 182
3.1. Электродвигатели производственных механизмов 182
3.2. Подъемно-транспортные устройства 183
3.3. Сварочные аппараты и агрегаты 183
3.4. Электротермические установки 183
3.5. Установки для гальванических покрытий 196

Б. Схемы внутрицехового распределения электроэнергии 196
3.6. Внутрицеховые электрические сети промышленных предприятий 196
3.7. Троллейные линии 205

В. Выбор электрооборудования для различных условий среды 207
3.8. Выбор двигателей и аппаратов управления 207
3.9. Выбор электрооборудования для взрывоопасных и пожароопасных зон 217

Г. Выбор электрооборудования для характерных производственных установок 228
3.10. Насосные установки 228
3.11. Компрессорные установки
3.12. Котельные 228
3.13. Поточно-транспортные системы 228
3.14. Автомобильные гаражи . . 240
3.15. Зарядные станции для аккумуляторов наземного транспорта 241

Д. Электродвигатели 244
3.16. Асинхронные электродвигатели общего назначения единой серии АИ до 315 кВт на напряжение до 660 В 244
3.17. Синхронные электродвигатели на напряжение 10 и 0,38 кВ 246
3.18. Электродвигатели постоянного тока единой серии 2П до 200 кВт на напряжение до 400 В 246
3.19. Взрывозащищенные электродвигатели 249

Е. Технические данные аппаратов управления для установок до 1 кВ 254
3.20. Общие указания по выбору аппаратов управления и защиты 254
3.21. Выключатели и переключатели рубильные серии ВР32 . . . 256
3.22. Разъединители и переключатели серии РЕ19 257
3.23. Выключатели автоматические серий ВА51, ВА52, ВА53, ВА55, ВА56 и ВА75 . . . 257
3.24. Контакторы и пускатели электромагнитные 264
3.25. Реле 270
3.26. Командоаппараты 272
3.27. Выключатели и переключатели пакетные, кнопочные, посты управления кнопочные, универсальные переключатели 272
3.28. Арматура светосигнальная 277
3.29. Силовые распределительные пункты (шкафы) 281
3.30. Взрывозащищенные пусковые аппараты 285
3.31. Низковольтные комплектные устройства управления электроприводами 289
3.32. Типовые низковольтные комплектные устройства 292
3.33. НКУ индивидуального исполнения 301
3.34. Бесконтактные низковольтные комплектные устройства (БНКУ) индивидуального исполнения 309
3.35. БНКУ индивидуального исполнения на базе микропроцессорных средств 311
3.36. Рекомендации по разработке НКУ 313

Раздел четвертый

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А. Общие сведения 328
4.1. Основные понятия 328
4.2. Нормы освещенности для некоторых производственных помещений 332
4.3. Выбор светильников в зависимости от условий среды . . . 332
4.4. Расчетные осветительные нагрузки 335

Б. Источники и схемы питания . . . 336
4.5. Величины, уровни и постоянство напряжения 336
4.6. Источники питания 338
4.7. Схемы питания освещения зданий 340
4.8. Схемы питания наружного освещения 344
4.9. Особенности компоновки и расчета осветительных сетей 344

В. Управление освещением 347
4.10. Общие требования и рекомендации 347
4.11. Дистанционное, автоматическое и телемеханическое управление 350
4.12. Расчет и выполнение сетей дистанционного управления освещением 355

Г. Электрооборудование для осветительных установок 357
4.13. Магистральные и групповые щитки 357
4.14. Ящики, блоки и панели управления 362
4.15. Станции автоматического переключения на резерв . . . 362
4.16. Комплектные конденсаторные установки 366
4.17. Понижающие трансформаторы 367

Раздел пятый

ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ

А. Электрический подвижной состав и тяговые расчеты 369
5.1. Общие сведения 369
5.2. Промышленные электровозы и тяговые агрегаты 369
5.3. Дизель-троллейвозы 374
5.4. Тяговые расчеты при железнодорожном транспорте . . . 375
5.5. Тяговые расчеты при дизель-троллейвозном транспорте 379

Б. Расчеты устройств электроснабжения электрической тяги 381
5.6. Общие вопросы электроснабжения 381
5.7. Выбор системы тока и напряжения тягового электроснабжения 383
5.8. Определение количества и мощности тяговых подстанций 384
5.9. Электрический расчет тяговой сети 389
5.10. Индуктивное влияние тяговой сети однофазного переменного тока 396
5.11. Потери мощности в системе тягового электроснабжения карьеров 397

В. Тяговая сеть 398
5.12. Контактная сеть 398
5.13. Питающие, отсасывающие и усиливающие линии 405
5.14. Расположение проводов и допускаемые расстояния . . . 407
5.15. Опорные и поддерживающие конструкции 409
5.16. Основные материалы, узлы и детали тяговой сети 415
5.17. Защита тяговой сети от атмосферных перенапряжений
5.18. Заземляющие устройства тяговой сети . . . . . .
5.19. Механический расчет элементов тяговой сети . . . . .
5.20. Разбивка опор контактной сети на планах станций и перегонов . . . . . .
5.21. Защита подземных сооружений от коррозии блуждающими токами . . . . . .
5.22. Распределительные посты

Раздел шестой

МОЛНИЕЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ, ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

6.1. Основные понятия . . . . .
6.2. Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты . . . . . .
6.3. Молниезащита зданий и сооружений I категории . . . . .
6.4. Молниезащита зданий и сооружений II категории . . . .
6.5. Молниезащита зданий и сооружений III категории . . . .
6.6. Конструкции молниеотводов
6.7. Конструкции заземлителей
6.8. Устройства молниезащиты и расчеты . . . . . .

Раздел седьмой

ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

7.1. Общие требования, определения . . . . . .
7.2. Защитные меры . . . . . .
7.3. Заземление . . . . . .
7.4. Расчет сопротивления заземлителя из вертикальных электродов (труб или угловой стали), связанных полосой прямоугольного или круглого сечения . . . . . .
7.5. Зануление . . . . . .
7.6. Защитное отключение . . .
7.7. Зануление, заземление и защитное отключение электроустановок во взрывоопасных зонах . . . . . .
7.8. Малые напряжения . . . . .
7.9. Разделяющие трансформаторы
7.10. Двойная изолация . . . . .
7.11. Уравнивание и выравнивание потенциалов . . . . . .
7.12. Физическое заземление
7.13. Заземление ВЛ напряжением до 1 кВ . . . . . .
7.14. Заземление ВЛ напряжением выше 1 кВ . . . . . .
Список литературы . . . . . .