



Агунов Михаил Викторович — доктор технических наук, профессор, лауреат ВВЦ, много лет занимался эксплуатацией электроустановок. В настоящее время сочетает научно-исследовательскую и преподавательскую деятельность. Автор научной монографии, учебника, нескольких учебных пособий, многочисленных научных статей и учебно-методических работ.



Маслаков Михаил Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, обладает большим опытом эксплуатации электроустановок. Автор двух учебников, нескольких учебных пособий, целого ряда научных статей и учебно-методических работ. В последнее время занимается преподавательской и научно-исследовательской деятельностью.



Пелех Михаил Теодозиевич — подполковник внутренней службы, кандидат технических наук, прошел путь от начальника караула пожарной части до заведующего кафедрой Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Автор учебного пособия, нескольких научных и учебно-методических работ. В последнее время совмещает научно-исследовательскую и преподавательскую деятельность.



М.В. Агунов
М.Д. Маслаков
М.Т. Пелех

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК



01



МЧС РОССИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ



М.В. Агунов, М.Д. Маслаков, М.Т. Пелех

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

*Допущено Министерством Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных
бедствий в качестве учебника для курсантов, студентов
и слушателей образовательных учреждений МЧС РОССИИ*

Нестор-История
Санкт-Петербург
2012

УДК 614.841
ББК Н 960.1-04
А 27

Рецензенты:

А.А. Бондарев

(Департамент надзорной деятельности МЧС России)

В.А. Андреев

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
(Санкт-Петербургский ФГУ ВНИИПО МЧС России)

А.Н. Назарычев

доктор технических наук, профессор
(Ивановский институт Государственной противопожарной службы
МЧС России)

Агунов М.В., Маслаков М.Д., Пелех М.Т.

А 27 Пожарная безопасность электроустановок : учебник. — СПб. : Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2012. — 292 с.

ISBN 978-5-905986-81-9

Рассмотрены вопросы пожарной безопасности в электроустановках. Показано решение примеров, приведены контрольные вопросы, задачи и упражнения, способствующие лучшему усвоению и закреплению материала.

Учебник предназначен для слушателей высших учебных заведений МЧС России по специальности 280104.65 – «Пожарная безопасность».

УДК 614.841
ББК Н 960.1-04

Научный редактор

доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный
работник высшей школы Российской Федерации, лауреат премии
Правительства Российской Федерации в области науки и техники

В.С. Артамонов

ISBN 978-5-905986-81-9



© М.В. Агунов, М.Д. Маслаков,
М.Т. Пелех, 2012

© Обложка. Издательство
ООО «Нестор-История», 2012

© Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
-------------------	---

Введение.....	7
---------------	---

Глава 1. Основы пожарной безопасности применения

электроустановок	9
1.1. Схемы электроснабжения предприятий.....	9
1.2. Пожарная опасность электрического тока.....	16
1.3. Типичные причины пожаров от электроустановок и противопожарные мероприятия.....	21
1.4. Вероятности возникновения пожара от электрического изделия.....	23
1.5. Классы пожаро- и взрывоопасных зон.....	25
1.6. Классификация взрывоопасных смесей.....	39
1.7. Пример определения класса пожаро- взрывоопасной зоны и категории помещения.....	41
1.8. Упражнения.....	48
1.9. Вопросы для повторения.....	49

Глава 2. Взрывозащищенное электрооборудование

2.1. Назначение и классификация электрооборудования.....	51
2.2. Классификация пожарозащищенного электрооборудования и его маркировка.....	54
2.3. Назначение и маркировка взрывозащищенного электрооборудования по «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» и ПУЭ.....	59
2.4. Назначение и маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007.....	65
2.5. Старые виды маркировки взрывозащищенного электрооборудования.....	74
2.6. Выбор электрооборудования по условиям пожаро- взрывобезопасности.....	78
2.7. Электромонтажные и пусконаладочные работы.....	86
2.8. Упражнения.....	87
2.9. Вопросы для повторения.....	89

Глава 3. Пожарная безопасность электрических сетей	91
3.1. Электрические сети промышленных объектов, жилых и общественных зданий	91
3.2. Провода и кабели	95
3.3. Обеспечение пожарной безопасности электрических сетей на этапах проектирования, монтажа и эксплуатации	99
3.4. Методика выбора электропроводок по условиям пожарной безопасности	101
3.5. Требования к электропроводкам в пожароопасных и взрывоопасных зонах	107
3.6. Основные правила монтажа электропроводок	110
3.7. Защита в электрических сетях	113
3.8. Методика расчета электрических осветительных сетей	133
3.9. Примеры расчета электрических осветительных сетей	139
3.10. Методика расчета электрических силовых сетей	156
3.11. Примеры расчета электрических силовых сетей	158
3.12. Упражнения	176
3.13. Вопросы для повторения	179
Глава 4. Пожарная безопасность электроустановок	180
4.1. Пожарная безопасность электросиловых установок	180
4.2. Пожарная безопасность осветительных установок	182
4.3. Пожарная безопасность термических установок	187
4.4. Меры электробезопасности в электроустановках	200
4.5. Устройство заземлений и занулений	207
4.6. Методика расчета заземляющих устройств	210
4.7. Упражнения	216
4.8. Вопросы для повторения	217
Глава 5. Пожарная опасность статического и атмосферного электричества	219
5.1. Электрические характеристики искрового промежутка	219
5.2. Устранение опасности возникновения электростатических зарядов	227

5.3. Молния и ее опасность.....	231
5.4. Классификация зданий и сооружений, подлежащих защите от прямых ударов молнии и ее вторичных проявлений.....	238
5.5. Требования к устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций	243
5.6. Расчет высоты молниеотводов.....	246
5.7. Примеры определения зоны защиты молниеотводов.....	254
5.8. Упражнения.....	256
5.9. Вопросы для повторения.....	257
Литература	259
Приложение. Характеристики наиболее употребительных проводов, кабелей, аппаратов защиты и управления	260
Ответы к упражнениям	270
Словарь терминов	272
Предметный указатель	280
Информационная справка	285

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс предполагает широкое использование электрооборудования во всех сферах производства. Радикальное повышение технического уровня производства, улучшение использования материалов, топлива и энергии напрямую связано с вопросами проектирования электроустановок, их технической эксплуатации и ремонта.

Вместе с тем обеспечение надежной работы электрооборудования на производстве невозможно без учета его пожарной опасности, опасности взрывов при эксплуатации электроустановок во взрывоопасных производствах. В связи с этим знание основ пожарной безопасности электроустановок для современного специалиста становится обязательным условием его успешной производственной деятельности.

Для того чтобы овладеть знаниями, нужно не просто усвоить определенную сумму теоретических знаний и изучить специальные нормативные документы, соблюдение которых является обязательным на всех этапах проектирования, монтажа и эксплуатации, но и научиться применять их на практике при решении конкретных задач, связанных с обоснованием классов пожаровзрывоопасных зон, выбором соответствующего пожаровзрывозащищенного электрооборудования. Нужно овладеть хотя бы простейшими практическими навыками, понять физическую сущность явлений и процессов, происходящих в электроустановках. Именно эта цель и преследовалась при подготовке данного учебника.

Значительную часть книги составляют вопросы, которые могут использоваться как для самопроверки, так и для закрепления материала; ответы на них читатель найдет, ознакомившись с приводимой краткой теорией. Некоторые вопросы потребуют изучения дополнительной литературы.

Авторы приносят благодарность д. т. н., проф. А.В. Агунову за предоставленные материалы и помощь, оказанную при подготовке рукописи.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Источниками электропитания предприятия являются электрические сети энергосистем.

Электрическая сеть — это совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии от места ее генерирования к месту потребления, состоящая из системы проводов, снабженной соответствующими аппаратами и приборами для переключений, измерений, трансформации, регулирования напряжения и т. п.

Электроэнергия поступает на предприятие по линиям высокого напряжения 35–220 кВ. Дойдя до предприятия, она попадает на воздушный или кабельный ввод главной понизительной подстанции предприятия (см. рис. В.1). Здесь питающие сети — сети энергоснабжающей организации — заканчиваются, заканчивается граница ее ответственности (территория обслуживания энергоснабжающей организации).

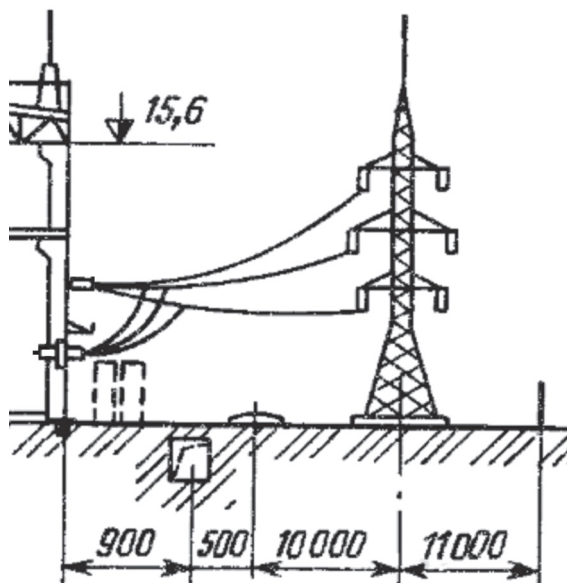


Рис. В.1. Конструктивное выполнение воздушного ввода линии 110 кВ

Дальнейшую ответственность за трансформацию электроэнергии, ее передачу и распределение по сетям предприятия несет энергохозяйство данного предприятия.

В этой связи для обеспечения безопасной работы системы электроснабжения предприятия необходимо знать характеристики потребителей электроэнергии, назначение и принцип действия основного электрооборудования системы электроснабжения предприятия, правила техники безопасности при его эксплуатации. Незнание этого, недопонимание и недооценка степени пожарной опасности электрооборудования приводят к авариям и пожарам.

Глава 1

ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

1.1. Схемы электроснабжения предприятий

Разная масштабность и сложность предприятий определяет разнообразие их электрических хозяйств, а также организационно-технических подходов к решению проблем электроснабжения.

Электроснабжением называется обеспечение потребителей электрической энергией.

Наиболее значимыми нормативными документами в области электроснабжения являются «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) и комплекс стандартов ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий». Требования ПУЭ являются обязательными для всех ведомств, организаций и предприятий, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, независимо от форм собственности. ПУЭ содержат общую часть, в которой даются определения, область применения и общие указания по устройству электроустановок, выбору проводников и электрических аппаратов. В ПУЭ входят следующие разделы: распределительные устройства и подстанции, электросиловые установки, электрическое освещение, электрооборудование специальных установок, канализация электроэнергии, защита и автоматика.

Комплекс стандартов ГОСТ Р 50571 является основополагающим нормативным документом в Российской Федерации в области стандартизации, сертификации, проектирования, монтажа, испытаний и эксплуатации зданий, а также выбора электрооборудования. Комплекс стандартов на электроустановки зданий содержит требования к проектированию, монтажу, наладке и испытанию электроустановок, а также к выбору электрооборудования, обеспечивающие их безопасность и удовлетворительную работу при условии использования по назначению.

Наряду с ПУЭ и комплексом ГОСТ Р 50571 существует ряд нормативных документов, требования которых следует учитывать при решении специальных вопросов проектирования и строительства

систем электроснабжения, при этом под *системой электроснабжения* понимается совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией. Эти требования относятся к некоторым видам электрооборудования, системам заземления, вопросам электромагнитной совместимости, пожарной безопасности и т. д.

Электроустановкой называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

Электроустановки по условиям электробезопасности разделяются ПУЭ на электроустановки напряжением до 1 кВ и электроустановки напряжением выше 1 кВ (по действующему значению напряжения).

На предприятии, оснащенном средствами информационно-вычислительной техники и телекоммуникаций и оборудованном инженерной инфраструктурой для поддержания жизнедеятельности персонала и нормального функционирования технических средств, ориентировочно можно выделить три основные группы потребителей электрической энергии, требующих различной надежности электроснабжения.

Потребителем электрической энергии называется электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Приемником электрической энергии (электроприемником) называется аппарат, агрегат и др., предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

В таблице 1.1 приведен примерный состав потребителей предприятия, разбитых в соответствии с требованиями к надежности их электроснабжения на три группы: **a**, **b** и **c**. Эти группы расположены в порядке снижения требований к надежности.

Приведенный состав потребителей относится к усредненному предприятию. В действительности состав групп потребителей **a** и **b** может варьироваться.

Способы и схемы организации электроснабжения групп **a**, **b** и **c** зависят от требований надежности их электроснабжения.

Таблица 1.1

Требования к надежности электроснабжения потребителей

Группа потребителей	Состав потребителей электроэнергии	Допустимый перерыв электроснабжения
а	Информационно-вычислительные системы Телекоммуникационные системы Система голосового оповещения и АТС Системы пожарной и охранной сигнализации Система контроля и управления доступом Система видеонаблюдения Эвакуационное освещение и освещение безопасности Система диспетчерского управления	Не допускается
б	Пожарные насосы Системы подпора воздуха и дымоудаления Пожарные лифты Система кондиционирования технологических помещений Холодильные камеры столовой Сигнальные огни	Допускается на время включения резервного источника питания
с	Прочие технологические и инженерные системы, не вошедшие в группы а и б	Допускается на время устранения аварии

Обеспечение надежности электроснабжения группы **а**, соответствующее требованиям особой группы I категории по классификации ПУЭ (всего установлено три группы), должно осуществляться от трех независимых, взаимно резервирующих источников питания, причем должны быть приняты дополнительные меры, препятствующие кратковременному перерыву электроснабжения во время переключения на резервный источник питания.

Электроснабжение группы **б** производится от двух источников, но мероприятий по недопущению перерывов питания во время переключения на резерв не требуется.

Электроснабжение группы **с** рекомендуется осуществлять также от двух независимых источников, но допускается питание и от одного источника.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников I категории могут быть использованы специальные агрегаты — источники бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п.

Как уже отмечалось выше, источником питания предприятия, как правило, является электрическая сеть энергосистемы, состоящая из подстанций, распределяющих устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих по определенной территории. По границе ответственности (территории обслуживания) все электрические сети можно разделить на:

- питающие (сети энергоснабжающей организации — до главной понизительной или распределительной подстанции предприятия потребителя);
- внутризаводские распределительные сети (от главной понизительной подстанции к каждому цеху, корпусу или зданию);
- внутрицеховые распределительные сети.

Электрической подстанцией называется электроустановка, предназначенная для преобразования, трансформации и распределения электроэнергии между источником и потребителем. По назначению выделяют:

- трансформаторные подстанции — для трансформации напряжения (повышающие и понижающие);
- распределительные подстанции — для распределения электроэнергии от одного источника между несколькими потребителями;
- преобразовательные подстанции — для преобразования частоты или рода тока при питании специфических потребителей.

По месту, занимаемому в системе электроснабжения, подстанции подразделяются на:

- узловые (районные) понизительные подстанции с высшим напряжением 500–750 кВ и низшим 110–220 кВ;
- главные понизительные подстанции предприятия (ГПП) напряжением 110–220/6–10 кВ;
- внутрицеховые комплектные трансформаторные подстанции (КТП) напряжением 6–10/0,4 кВ.

Трансформаторную подстанцию называют *комплектной* при поставке всего комплекса электрооборудования: трансформаторов, щита низкого напряжения и других элементов — в собранном

виде или в виде блоков, полностью подготовленных для сборки и монтажа.

Электрическая подстанция может включать в себя *распределительные устройства* (РУ), служащие для приема и распределения электроэнергии и содержащие коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы. Если все или основное оборудование РУ расположено на открытом воздухе, оно называется открытым (ОРУ), если в здании — закрытым (ЗРУ).

Распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации, называется *распределительным пунктом* (РП). Для напряжения 6 и 10 кВ в практике электроснабжения широко применяется эквивалентное понятие «*распределительная подстанция*».

Распределительный пункт напряжением до 1 кВ называют, как правило, *силовой сборкой* и выполняют в виде распределительных щитов или станций управления.

Распределительным щитом называют распределительное устройство до 1 кВ, предназначенное для управления низковольтными линиями распределительной сети и их защиты.

Станция управления — это комплектное устройство, предназначенное для дистанционного управления отдельными электроприемниками с автоматизированным выполнением функций регулирования, защиты и сигнализации. Конструктивно станция управления может представлять собой блок, панель, шкаф или щит.

На рис. 1.1 приводится пример схемы общего электроснабжения крупного предприятия.

Высокое напряжение через ОРУ подается на ГПП предприятия, где оно при помощи трансформаторов ТР 1 и ТР 2 понижается до необходимых величин, например, с 35–110 кВ до 6–10 кВ. Под этим напряжением электроэнергия для дальнейшего распределения между потребителями поступает на главный распределительный пункт (ГРП). Шины ГРП электрически связаны устройством автоматического включения резерва (АВР) посредством секционного выключателя (чаще всего масляного) В1, который в нормальном режиме работы схемы находится в положении «выключено».

С ГРП электроэнергия обычно по кабелям передается к цеховому РП, от которого получают питание потребители непосредственно с шин РП (например, высоковольтные двигатели) или через цеховые трансформаторные подстанции ТП 1 и ТП 2 (потребители с напряжением 380/220 В).

При отключении одной из высоковольтных линий, например ВЛ1, срабатывают устройства электрической защиты и аварийная цепь отключается присоединенным к трансформатору ТР 1 выключателем В. Далее срабатывает устройство АВР и шины ГРП электрически соединяются посредством включения выключателя В1. При полной потере питания от ВЛ после отключения поврежденных участков аварийное электроснабжение потребителей особой группы осуществляется вводом резервного источника питания (на схеме на рис. 1.1 не показан).

Если напряжение в энергосистеме составляет 3–6–10 кВ, то объектовой ГПП может не быть. Вместо нее устраивают ГРП предприятия, который принимает и распределяет электроэнергию непосредственно к потребителям или через трансформаторы цеховых подстанций. На предприятиях, не имеющих высоковольтных потребителей, электроэнергия из сети энергосистемы подается на

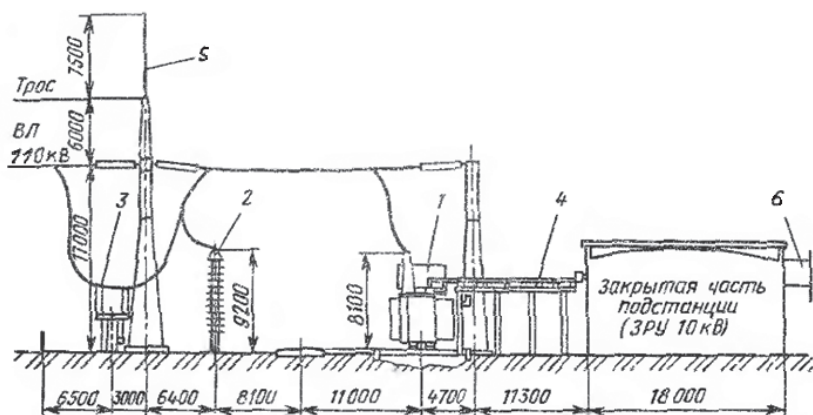


Рис. 1.2. Пример компоновки ГПП 110 кВ:

- 1 — трансформатор; 2 — разрядник; 3 — разъединитель; 4 — открытый токопровод; 5 — молниеотвод; 6 — кабельная эстакада

ТП предприятия и при напряжении 380/220 В распределяется по цехам. На небольшие предприятия с малой установленной мощностью электроэнергия из энергосистемы поступает от специальных ТП при напряжении 380/220 В и без трансформации распределяется по потребителям.

Пример компоновки ГПП 110 кВ крупного предприятия показан на рис. 1.2.

Величина установленной и единовременной мощности потребителя и категория надежности электроснабжения определяются техническими условиями и разрешениями на присоединение к электрическим сетям энергосистемы. Установка автономных источников электроснабжения техническими условиями и разрешениями не регламентируется и выполняется по проекту.

1.2. Пожарная опасность электрического тока

Оперативная обстановка с пожарами в Российской Федерации показывает, что каждый пятый пожар происходит в результате нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, а доля причиненного ими ущерба составляет примерно 21 % от всего ущерба, причиненного пожарами.

Анализ противопожарного состояния промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, зданий общественного назначения и жилых домов показывает, что их безопасная эксплуатация во многом зависит от технического состояния электрооборудования, электроустановок и приборов.

Для возникновения и развития пожара необходимо наличие трех одновременно действующих факторов: *горючей среды* (горючих материалов и окислителя), *источника зажигания* и *путей распространения пожара*.

Горючая среда присутствует практически во всех помещениях, зданиях и сооружениях. Это обои, мебель, писчая бумага, горючие строительные конструкции, сырье, готовая продукция, вещества, применяемые в технологических процессах (горючие газы, пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), горючая пыль и т. п.), изоляционные материалы (резина, полиэтилен, полихлорвинил,

трансформаторное масло, полистирол, хлопчатобумажные и шелковые ткани, капрон, битум, и т. п.) и многое другое.

Источником зажигания в электроустановках является тепло, выделяемое электрической цепью в окружающее пространство. Если образующие электрическую цепь, например постоянного тока, проводники неподвижны, а электрический ток постоянен, то работа сторонних сил целиком расходуется на нагревание проводников. Энергия W , выделяющаяся в цепи за время t во всем объеме проводника, равна

$$W = P \cdot t = UI \cdot t \text{ (Дж)},$$

где P — мощность, выделяемая в цепи (Вт); I — ток, протекающий в цепи (А); U — напряжение, приложенное к цепи (В). Соответствующее этой энергии количество теплоты Q в калориях (1 калория = 4,1868 Дж), выделяющееся в проводнике,

$$Q = 0,24 \cdot IU \cdot t,$$

где I дано в амперах, U — в вольтах и t — в секундах. Эта формула выражает *закон Джоуля–Ленца*: количество теплоты, выделяемое током в проводнике, пропорционально силе тока, проходящего через проводник, времени его прохождения и падению напряжения на проводнике.

В случае переменного тока все сказанное выше также справедливо. Только в формулы следует подставить действующие значения тока и напряжения.

Таким образом, в проводнике, по которому течет ток, в единицу времени выделяется тепловая мощность

$$Q' = UI \text{ (Вт = Дж/сек)}. \quad (1.1)$$

С другой стороны, проводник отдает тепло в окружающую среду. На практике рассматривают суммарный эффект, получающийся в результате трех видов теплоотдачи: теплопроводности, лучеиспускания и конвекции. В этом случае при установившемся тепловом режиме пользуются формулой Ньютона:

$$Q'' = k_T S(t^\circ - t_0^\circ), \quad (1.2)$$

где Q'' — тепловая мощность, отдаваемая в окружающую среду (Вт); S — площадь поверхности тела (м^2); t° и t_0° — соответственно температура тела и окружающей среды ($^\circ\text{C}$); k_T — коэффициент теплоотдачи, представляющий собой количество тепла, отдаваемое с 1 м^2 поверхности тела в 1 секунду при разности температур между поверхностью и окружающей средой в 1°C ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Для естественного воздушного охлаждения (используется при мощностях $10\text{--}15 \text{ кВт}$) $k_T = 9 \div 14 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Для принудительного воздушного охлаждения (используется при мощностях $> 10 \text{ кВт}$, при этом может быть достигнута скорость обдува $15\text{--}20 \text{ м/сек}$, что ограничивает возможности принудительного охлаждения) $k_T = 70 \div 150 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Для жидкостного водяного охлаждения (эффективно при плотности теплового потока до $20 \text{ Вт}/\text{см}^2$, при более высоких плотностях применяют испарительное охлаждение, при котором температура охлаждаемого тела не выше температуры кипения испарителя) $k_T = 10^3 \div 7 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

В установившемся режиме выделяемая тепловая мощность равна тепловой мощности, отдаваемой в окружающую среду, — таким образом, выражения (1.1) и (1.2) можно приравнять и записать результат относительно температуры тела, т. е. проводника:

$$t^\circ = \frac{UI}{k_T S} + t_0^\circ. \quad (1.3)$$

Из (1.3) следует, что температура проводника увеличивается при увеличении приложенного к нему напряжения; увеличении тока, протекающего через проводник; уменьшении поверхности проводника; увеличении температуры окружающей среды.

Увеличение температуры может превысить предельно допустимую и привести к разрушению материалов и конструкций электрической цепи, их возгоранию или к возгоранию окружающих электрическую цепь сред. Так, например, температура внутри электрического разряда (дуги, искры) достигает 4000°C — этого абсолютно достаточно для воспламенения любых горючих материалов.

В качестве иллюстрации в таблицах 1.2 и 1.3 приведены характеристики некоторых соответственно жидких и твердых диэлектриков, используемых в электротехнических устройствах.

Таблица 1.2

Характеристики некоторых жидких диэлектриков

Жидкий диэлектрик	Температура вспышки паров, t°С	Применение
Трансформаторное масло	135 ÷ 140	Трансформаторы, масляные выключатели, фарфоровые вводы, реостаты
Конденсаторное масло	135	Пропитка бумажных конденсаторов
Кабельное масло	250 ÷ 260	Пропитка бумажной изоляции кабелей
Касторовое масло	260 ÷ 270	Пропитка бумажных конденсаторов

Таблица 1.3

Характеристики некоторых твердых диэлектриков

Изоляционный материал	Температура воспламенения, t°С	Характер горения
Полистирол	274	Коптящее пламя
Полиэтилен	306	Коптящее пламя
Плексиглас	200	Бездымное пламя
Поливинилхлорид	560	Коптящее пламя
Винипласт	580	Коптящее пламя
Резина	220	Коптящее пламя
Текстолит	358	Самозатухание
Гетинакс	285	Самозатухание

Пути распространения пожара в электроустановках являются электрические сети, связывающие между собой практически все помещения здания, участки и оборудование. И зачастую именно по электрическим коммуникациям возможно развитие и распространение пожара.

Таблица 1.4

Статистика распределения относительного количества пожаров по причинам возникновения и видам электроустановок

Вид (назначение) электрооборудования	Относительное количество пожаров, %
Электрические сети, в том числе осветительные	43,4 29
Электронагревательные приборы, в том числе силовые	26,2 14,4
Прочие виды электрооборудования	7,8
Электродвигатели	7,1
Лампы накаливания и светильники	4,6
Радиоприемники и телевизоры	3,6
Пускорегулирующие аппараты	3,6
Установочная арматура	2,3
Силовые трансформаторы	1,4

Для предупреждения пожаров от электротехнических причин необходимо исключить один из вышеперечисленных факторов. Однако в большинстве случаев устранить сгораемую изоляцию, сгораемое сырье, сгораемую готовую продукцию и т. п. не представляется возможным. То же самое можно сказать и о кислороде воздуха. Поэтому, практически, чтобы не допустить возникновения пожара от электроустановок, следует не допускать появления источника зажигания или, если это по тем или иным причинам невозможно, его контакта со сгораемыми материалами.

Достижение этого возможно за счет:

- правильного выбора электрооборудования, т. е. его конструктивного соответствия характеру окружающей среды, технологии производства;
- правильного монтажа электрооборудования и его эксплуатации;
- применения аппаратов защиты;
- соблюдения режимных мероприятий.

В таблице 1.4 представлена усредненная статистика распределения относительного количества пожаров по видам электроустановок.

1.3. Типичные причины пожаров от электроустановок и противопожарные мероприятия

Выполнение противопожарных мероприятий является одним из главных условий обеспечения безопасности работающих с электроустановками людей, а также сбережения материальных ценностей.

Основными причинами возникновения пожаров в электроустановках являются *короткие замыкания*, длительная *перегрузка проводов и кабелей*, большое *переходное сопротивление* и *искрение* при неплотном контактном соединении, *небрежное обращение с источниками открытого огня*.

Огромную опасность взрыва и пожара представляют аккумуляторы, выделяющие водород, который в сочетании с кислородом воздуха создает взрывоопасную смесь (гремучий газ). Наиболее опасен процесс зарядки аккумуляторов, при котором водород выделяется в особо значительных количествах. При плохой работе вентиляции концентрация водорода в аккумуляторных помещениях может стать столь значительной, что искрение контактных соединений, пламя зажигалки или сигареты могут привести к взрыву и пожару.

В связи с этим перед постановкой аккумуляторов на зарядку необходимо проверить исправность вентиляции и в процессе зарядки периодически проверять ее действие. Все электрооборудование в аккумуляторном помещении должно отвечать требованиям взрывобезопасности. Пользоваться в таких помещениях источниками открытого огня категорически запрещается.

Огнеопасные и легковоспламеняющиеся вещества, промывочные, смазочные материалы, нефтепродукты, спирты, различные клеи, смолы, лаки и т. п. при неправильном обращении с ними могут явиться причиной возникновения пожара. Эти материалы должны храниться только в исправных герметичных сосудах в количестве, необходимом для работы одной смены, и не оставаться без присмотра.

Для промывки электрических машин и аппаратов бензином или другими ЛВЖ необходимо получить специальное разрешение, вывесить предостерегающие плакаты, удалить из помещения все лишние предметы, проверить наличие у входа в помещение углекислотных огнетушителей. Помещение, где ведется промывка, необходимо непрерывно вентилировать с помощью принудительной вентиляции, а по окончании работ тщательно проветрить и выполнить влажную уборку.

Для защиты проводов от перегрузок и токов короткого замыкания необходимо применять либо автоматические выключатели, либо предохранители с предусмотренными проектом плавкими вставками. Применение самодельных или завышенных по току плавких вставок категорически запрещается.

Для обеспечения малого переходного сопротивления и исключения искрения контактных соединений их необходимо выполнять с помощью винтовых зажимов, обеспеченных устройством против самоотвинчивания. Скрутка проводов без пайки или механического соединения специальными зажимами или винтами не допускается. Все провода и кабели должны иметь исправную изоляцию и надежные контактные соединения, недоступные для посторонних лиц.

При возникновении пожара в электроустановке следует немедленно снять напряжение на всем участке тушения пожара. Первичные очаги пожара в электроустановках до 1000 В разрешается тушить без снятия напряжения, но только с применением углекислотных огнетушителей. Использование пенных огнетушителей и воды на электроустановках не допускается. Тушение пожара водой должно быть предусмотрено только для электрических генераторов.

Постоянная опасность возникновения пожара от электроустановок требует организации противопожарных и профилактических мероприятий. К ним относятся:

- строгое соблюдение всех требований пожарной безопасности;
- локализация очагов пожара, т. е. меры, предупреждающие распространение пожара по всему помещению или предприятию;
- обеспечение быстрой и четкой эвакуации людей из горящих помещений;
- развертывание тактических действий по тушению пожара (установка наружных пожарных лестниц, наличие и удобное расположение средств огнетушения).

Все данные мероприятия выполняются как в процессе проектирования и монтажа электроустановок, так и в процессе их эксплуатации.

Особое значение приобретает обучение работающих с электроустановками правилам противопожарной безопасности. Твердое знание и соблюдение работающими несложных правил противопожарной безопасности является важнейшим условием предупреждения пожаров от электроустановок.

1.4. Вероятности возникновения пожара от электрического изделия

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 электрическое изделие считается пожаробезопасным, если оно прошло испытание в характерном пожароопасном режиме и вероятность возникновения пожара в нем/от него не превысит 10^{-6} в год. Вероятность возникновения пожара в/от электрических изделий и условия пожаробезопасности записывается в следующем виде:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{п.р.}} \cdot Q_{\text{н.з.}} \cdot Q_{\text{п.з.}} \cdot Q_{\text{в}} \leq 10^{-6}, \quad (1.4)$$

где $Q_{\text{п.р.}}$ — вероятность возникновения характерного пожароопасного режима в составной части изделия (возникновения короткого замыкания, перегрузки, повышения переходного сопротивления и т. п.) (1/год); $Q_{\text{н.з.}}$ — вероятность несрабатывания аппарата защиты (электрической, тепловой и т. п.); $Q_{\text{п.з.}}$ — вероятность того, что значение характерного электротехнического параметра (тока, переходного сопротивления и др.) лежит в диапазоне пожароопасных значений; $Q_{\text{в}}$ — вероятность достижения горючим материалом критической температуры или его воспламенения.

Вероятность возникновения характерного пожароопасного режима $Q_{\text{п.р.}}$ определяется статистически по данным испытательных лабораторий предприятий-изготовителей и эксплуатационных служб.

Вероятность $Q_{\text{н.з.}}$ в общем виде рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{н.з.}} = 1 - e^{-\lambda_3 t} = 1 - P e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_p t} + P e^{-\lambda_p t},$$

где P — вероятность загробления защиты (устанавливается обследованием или принимается как среднестатистическое значение, имеющее место на объектах, где преимущественно используется изделие); λ_3 — эксплуатационная интенсивность отказов аппаратов защиты (1/ч); λ_p — рабочая (аппаратная) интенсивность отказов защиты (определяется по теории надежности технических систем) (1/ч); λ_3 — интенсивность отказов загробленной защиты (1/ч); t — текущее время работы (ч).

Для аппаратов, находящихся в эксплуатации более 1,5–2 лет, для расчета $Q_{н.з.}$ может быть использовано упрощенное выражение:

$$Q_{н.з.} = \lambda_p \cdot t.$$

Характерный пожароопасный режим определяется значением электротехнического параметра, при котором возможно появление признаков загорания изделия. Например, характерный пожароопасный режим — короткое замыкание; характерный электротехнический параметр этого режима — значение тока короткого замыкания. Зажигание изделия возможно только в определенном диапазоне токов короткого замыкания. В общем виде:

$$Q_{п.з.} = \frac{N_{п.}}{N_{з.}}$$

где $N_{п.}$, $N_{з.}$ — соответственно диапазоны пожароопасных и возможных в эксплуатации значений характерного электротехнического параметра.

Вероятность Q_v положительного исхода опыта (воспламенения, появления дыма или достижения критической температуры) определяется после проведения лабораторных испытаний в условиях равенства $Q_{п.р} = Q_{н.з.} = Q_{п.з.} = 1$ по формуле:

$$Q_v = \frac{3 + 1,3m}{n + 2},$$

где m — число опытов с положительным исходом; n — число проведенных опытов. В случае $m \geq 0,76(n-1)$, принимают $Q_v = 1$.

При использовании в качестве критерия положительного исхода опыта достижение горючим материалом критической температуры Q_v определяется из формулы:

$$Q_v = 1 - \theta_i,$$

где θ_i безразмерный параметр, значение которого выбирается по табличным данным, в зависимости от безразмерного параметра α в распределении Стьюдента:

$$\alpha = \frac{\sqrt{n}(T_k - T_{\text{ср}})}{\sigma},$$

где T_k — критическая температура нагрева горючего материала (°K); $T_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение температур в испытаниях в наиболее нагретом месте изделия (°K); σ — среднее квадратическое отклонение.

В качестве критической температуры, в зависимости от вида изделия, условий его эксплуатации и возможных источников зажигания, может быть принята температура, составляющая 80 % температуры воспламенения изоляционного (конструкционного) материала.

Вычисленная по формуле (1.4) вероятность $Q_{\text{п}}$ сравнивается с нормативной величиной 10^{-6} в год (в расчете на одно изделие). Электротехническое изделие считается пожаробезопасным, если для полученного значения $Q_{\text{п}}$ выполняется условие: $Q_{\text{п}} \leq 10^{-6}$ в год.

Если $Q_{\text{п}} > 10^{-6}$, то принимается решение о доработке конструкции электротехнического изделия в части пожарной безопасности.

Показатели пожарной безопасности электроустановок вносятся в ведомственные нормы и правила, технические паспорта и т. п.

Фактическая вероятность возникновения пожаров от электротехнических изделий определяется по формуле:

$$Q = \frac{n}{N},$$

где n — количество пожаров в год от изделий определенного вида; N — количество изделий данного вида, находящихся в эксплуатации.

1.5. Классы пожаро- и взрывоопасных зон

Многообразие технологических процессов производств, а также различные режимы работы технологического оборудования, установленного внутри и вне зданий, создают различные условия пожароопасности в производственных помещениях и наружных установках. В связи с этим для практического решения вопроса по

выбору электрооборудования «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» и ПУЭ вводятся понятия:

- пожароопасной зоны (ПЗ);
- взрывоопасной зоны (ВЗ).

Определение границ и класса пожароопасной и взрывоопасной зон проводится технологами совместно с электриками проектной или эксплуатационной организации.

Согласно ПУЭ *пожароопасной зоной* называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Они определяются и обосновываются нормативно.

Согласно ПУЭ *зоны класса П-I* — зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости (ГЖ) с температурой вспышки ($t_{\text{всп.}}$) выше 61 °С. Например, склады минеральных масел, установки по их регенерации, насосные станции горючих жидкостей, установки по пропитке хлопчатобумажных изделий маслами и лаками, камеры масляных трансформаторов, выключателей и др. Заметим, что «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» расширяет зоны класса П-I и относит к ним еще и зоны, в которых обращаются жидкости, способные самостоятельно гореть, с температурой вспышки, равной 61 °С, т. е. легковоспламеняющиеся. Учитывая, что легковоспламеняющиеся жидкости взрывоопасны, на наш взгляд, на практике до устранения отмеченного противоречия, следует руководствоваться более жесткими требованиями, т. е. в данном случае — требованиями ПУЭ!

Горючая жидкость — жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61 °С ($\text{ГЖ} \rightarrow t_{\text{всп.}} > 61 \text{ °С} \rightarrow \text{пожароопасны}$).

Вспышка — быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов.

Температура вспышки — самая низкая (в условиях специальных испытаний) температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары и газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

Легковоспламеняющаяся жидкость — жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\text{ЛВЖ} \rightarrow t_{\text{всп.}} \leq 61\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{взрывоопасны}$).

Зоны класса П-П — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль (ГП) или волокна (ГВ) с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м^3 к объему воздуха. Например, деревообделочные цехи, трепальные, чесальные, ткацкие, прядильные, льноперерабатывающие установки, малозапыленные помещения элеваторов, зерноочистительные отделения мельниц, склады тарного хранения муки, сушильно-пропаривательные отделения, транспортные отделения и помещения, в которых зернопродукты находятся в таре или россыпью, помещения цехов, в которых осуществляется механическая обработка древесины.

Верхний и нижний концентрационные пределы воспламенения — соответственно максимальная и минимальная концентрации горючих газов (ГГ), паров ЛВЖ, горючих пыли и волокон в воздухе, выше и ниже которых взрыва не происходит даже при возникновении источника инициирования.

Согласно ПУЭ *зоны класса П-Па* — зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества и, как уточняется «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности», в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В соответствии с СП 12.13130.2009 пожарная нагрузка Q (МДж) в пределах пожароопасного участка определяется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{ni}^p,$$

где G_i — количество i -го материала пожарной нагрузки, кг; Q_{ni}^p — низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Удельная пожарная нагрузка q , МДж/м², определяется из соотношения:

$$q = \frac{Q}{S},$$

где S — площадь размещения пожарной нагрузки, м² (но не менее 10 м²).

Примерами зон класса П-IIа являются: сборочные цехи деревообрабатывающих предприятий; склады древесины, мебели, бумаги, швейных изделий; библиотеки, музеи, архивы и др.

Зоны класса П-III — зоны, расположенные вне помещений, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества. Например, открытые или под навесом склады и хранилища минеральных масел, каменного угля, торфа, древесины и изделий из нее, сливно-наливные эстакады масел и др. Отметим, что «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», как и в случае с зонами П-I, относит к зонам класса П-III и зоны, в которых обращаются жидкости, способные самостоятельно гореть, с температурой вспышки 61 °С, т. е. легковоспламеняющиеся.

Наибольшую опасность представляют зоны классов П-I и П-II, менее опасны зоны П-IIа и П-III.

В системах электроснабжения промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства к пожароопасным следует отнести следующие помещения и установки:

а) закрытые распределительные устройства электростанций, содержащие маслonaполненные аппараты с минеральным маслом в количестве более 60 кг в единице электрооборудования, камеры трансформаторов с масляным охлаждением, кабельные помещения (туннели, полуэтажи, подвалы, шахты);

б) помещения по окраске изделий, мазутные, насосные по перекачиванию нефтепродуктов;

в) закрытые склады угля для котельных и др.

В таблице 1.5 приведена классификация пожароопасных зон по степени опасности при использовании в них электрооборудования.

Горючие газы и пары легковоспламеняющихся жидкостей, смешиваясь с воздухом, кислородом или другим окислителем, при определенной температуре и концентрации могут образовывать взрывоопасные смеси.

Взрывоопасная смесь — смесь с воздухом горючих газов, паров ЛВЖ, горючих пыли и волокон с нижним концентрационным пределом воспламенения не более 65 г/м³ при переходе их во взведенное состояние, которая при определенной концентрации способна взорваться при возникновении источника инициирования взрыва.

К взрывоопасным относится также смесь горючих газов и паров ЛВЖ с кислородом или другим окислителем (например, хлором).

Концентрация в воздухе горючих газов и паров ЛВЖ принята в процентах к объему воздуха, концентрация пыли и волокон — в граммах на кубический метр к объему воздуха.

Взрыв — быстрое преобразование веществ (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу.

Критериями сравнительной оценки степени взрывоопасности являются:

- температура вспышки $t_{\text{всп.}}$;
- температура самовоспламенения $t_{\text{сам.}}$.

Согласно ПУЭ *температура самовоспламенения* — самая низкая температура горючего вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

Таблица 1.5

Классификация пожароопасных зон по степени опасности при использовании в них электрооборудования согласно ПУЭ

ПЗ	Расположение в помещении	Вещество	Параметр	Пример
П-I	Да	Жидкости, способные самостоятельно гореть	$t_{\text{всп.}} > 61\text{ }^{\circ}\text{C}$	—склад минеральных масел; —насосные станции.
П-II	Да	ГП или ГВ	$\text{НКПВ} > 65\text{ г/м}^3$	—деревообделочные цехи, чесальные установки; —склады зерна.
П-IIа	Да	Твердые горючие вещества	—	—склад бумаги; —склад швейных изделий.
П-III	Нет	Жидкости, способные самостоятельно гореть	$t_{\text{всп.}} > 61\text{ }^{\circ}\text{C}$	—сливно-наливные эстакады масел.
		Твердые горючие вещества	—	—склад торфа; —склад каменного угля.

Многие ЛВЖ могут образовывать взрывоопасные смеси с воздухом уже при температуре в производственном помещении 10–35 °С, т. е. без дополнительного подогрева, т. к. эта температура превышает температуру вспышки. Некоторые ЛВЖ образуют взрывоопасные смеси при температуре ниже нуля, например, сероуглерод, ацетон, бензин.

Взрывоопасные смеси с воздухом могут образовывать пыль и волокна некоторых горючих веществ. Горючие пыль и волокна относятся к взрывоопасным, если их нижний концентрационный предел воспламенения не превышает 65 г/м³. Характерным показателем для пожароопасной характеристики пыли или волокон является температура тления.

Температура тления — самая низкая температура вещества (материалов, смеси), при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением тления.

В таблицах 1.6 и 1.7 приведены характеристики некоторых горючих веществ.

Взрывоопасные смеси воспламеняются в случае, если в электроустановках находится источник зажигания в виде нагретого тела или пламени (электрическая дуга короткого замыкания; искра, возникающая при замыкании или размыкании контактов; чрезмерно высокая температура на поверхности электрооборудования, превышающая температуру самовоспламенения взрывоопасных смесей, и т. п.).

Таблица 1.6

Характеристики некоторых ЛВЖ и горючих газов

Наименование горючего вещества		Температура, °С		Концентрационные пределы воспламенения, % об.	
		t _{всп}	t _{сам}	нижний	верхний
ЛВЖ	бензин	–11	534	1,4	7,1
	ацетон	–18	465	2,2	13,0
	спирт этиловый	13	404	3,6	19
ГГ	аммиак	–	650	17,0	28
	метан	–	537	5,28	15
	водород	–	510	4,0	75

Взрывоопасной зоной (ВЗ) называется помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси.

По степени взрывоопасности взрывоопасные зоны подразделяются на шесть классов.

Согласно ПУЭ для горючих газов и паров легковоспламеняющихся жидкостей предусмотрены четыре класса взрывоопасных зон: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг.

Для взрывоопасной пыли предусмотрены два класса: В-II и В-IIa.

Наиболее опасными являются зоны классов В-I и В-II. Они определяются и обосновываются нормативным и расчетным способами.

Таблица 1.7

Характеристика пыли некоторых горючих веществ

Горючее вещество	Взвешенная пыль		Осевшая пыль		
	НКПВ, г/м ³	Температура воспламенения, °С	Температура тления, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С
Мука древесная	11,2	430	–	–	255
Крахмал картофельный	40,3	430	Не тлеет, обугливается	–	420
Сахар свекловичный	8,9	360	Не тлеет, плавится при 160° С	–	350

При определении взрывоопасных зон по ПУЭ принимается, что:

а) взрывоопасная зона в помещении занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси ($V_{\text{вз.см.}}$) превышает 5 % свободного объема помещения ($V_{\text{с.о.п.}}$);

б) взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5 % свободного объема помещения. Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует

считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность.

СП 12.13130.2009 предлагает альтернативную методику определения взрывоопасных производственных и складских помещений. Согласно СП 12.13130.2009 помещение считают взрывопожароопасным, если расчетное развиваемое избыточное давление возможного взрыва превышает 5 килопаскалей ($1 \text{ кПа} = 1 \text{ кН/м}^2 = 101,9 \text{ кгс/м}^2$).

Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) в помещении для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С — углерода, Н — водорода, О — кислорода, N — азота, Cl — хлора, Br — брома, J — йода, F — фтора, определяется по формуле:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{100 \cdot m \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{г,п}} \cdot C_{\text{ст}} \cdot K_{\text{н}}},$$

где $P_{\max}$ — максимальное давление взрыва стехиометрической газозовоздушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных допускается принимать $P_{\max}$ равным 900 кПа; P_0 — начальное давление (допускается принимать равным 101 кПа); m — масса горючего газа или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, вышедших в результате расчетной аварии в помещение (кг); Z — коэффициент участия горючего во взрыве, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения. Допускается принимать значение Z : для водорода — $Z = 1$; для горючих газов (кроме водорода) — $Z = 0,5$; для легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше, — $Z = 0,3$; для легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля — $Z = 0,3$; для легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля — $Z = 0$. $V_{\text{св}}$ — свободный объем помещения (м^3); $\rho_{\text{г,п}}$ — плотность газа или пара при расчетной температуре (кг/м^3); $C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}$ — стехиометрическая концентрация горючих газов или паров легковоспламеняющихся жидкостей и горючих жидкостей (объемных %); $\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{X}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2}$ — стехиометрический

коэффициент кислорода в реакции сгорания; n_C, n_H, n_O, n_X — число атомов соответственно углерода, водорода, кислорода и галоидов в молекуле горючего; K_H — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать K_H равным трем.

Расчет ΔP для индивидуальных веществ, кроме упомянутых выше, а также для смесей может быть выполнен по формуле:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_v \cdot C_p \cdot T_0 \cdot K_H},$$

где H_T — теплота сгорания (Дж/кг); ρ_v — плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 , (кг/м³); C_p — теплоемкость воздуха (допускается принимать равной $1,01 \times 10^3$ Дж/кг°K); T_0 — начальная температура воздуха (°K).

По этому же выражению производится и расчет избыточного давления взрыва для горючих пылей. В отсутствие возможности получения сведений для оценки величины Z допускается принимать $Z = 0,5$.

Расчетное избыточное давление взрыва ΔP для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, определяется по приведенной выше методике, полагая $Z = 1$ и принимая в качестве величины H_T энергию, выделяющуюся при взаимодействии (с учетом сгорания продуктов взаимодействия до конечных соединений), или экспериментально в натурных испытаниях. В случае, когда определить величину ΔP не представляется возможным, следует принимать ее превышающей 5 кПа.

Расчетное избыточное давление взрыва ΔP для гибридных взрывоопасных смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли, определяется по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

где ΔP_1 — давление взрыва, вычисленное для горючего газа (пара); ΔP_2 — давление взрыва, вычисленное для горючей пыли.

Наружные установки производственного и складского назначения СП 12.13130.2009 предлагает считать взрывопожароопасными,

если горизонтальный размер зоны, ограничивающей газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела воспламенения, превышает 30 м (данный критерий применяется только для горючих газов и паров) и/или расчетное избыточное давление при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.

Величину избыточного давления ΔP , развиваемого при сгорании газопаровоздушных смесей, в этом случае определяют по формуле:

$$\Delta P = P_0 \left(\frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right),$$

где P_0 — атмосферное давление (допускается принимать равным 101 кПа); r — расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака (м); $m_{\text{пр}}$ — приведенная масса газа или пара (кг), вычисляется по формуле:

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} \cdot m \cdot Z,$$

где $Q_{\text{сг}}$ — удельная теплота сгорания газа или пара (Дж/кг); Z — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который допускается принимать равным 0,1; Q_0 — константа, равная $4,52 \times 10^6$ Дж/кг; m — масса горючих газов и/или паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство (кг).

Вернемся к ПУЭ. ПУЭ классифицирует взрывоопасные зоны следующим образом.

Зоны класса В-I — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.

Зоны класса В-Ia — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела

воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Зоны класса В-Іб — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей, и которые отличаются одной из следующих особенностей.

1. Горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005-88 (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок).

2. Помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей).

Пункт 2 не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения вытяжной вентиляцией с естественным побуждением; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду.

К классу В-Іб относятся также зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

Зоны класса В-Іг — пространства у наружных установок — технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок, выбор электрооборудования для которых производится так же, как

и для аналогичных установок в закрытых помещениях), надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

К зонам класса В-Iг также относятся: пространства у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений с взрывоопасными зонами классов В-I, В-Iа и В-II (исключение — проемы окон с заполнением стеклблоками); пространства у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений со взрывоопасными зонами любого класса или если они находятся в пределах наружной взрывоопасной зоны; пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ.

Для наружных взрывоопасных установок взрывоопасная зона класса В-Iг считается в пределах до:

а) 0,5 м по горизонтали и вертикали от проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений с взрывоопасными зонами классов В-I, В-Iа, В-II;

б) 3 м по горизонтали и вертикали от закрытого технологического аппарата, содержащего горючие газы или ЛВЖ; от вытяжного вентилятора, установленного снаружи (на улице) и обслуживающего помещения с взрывоопасными зонами любого класса;

в) 5 м по горизонтали и вертикали от устройств для выброса из предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами или ЛВЖ, от расположенных на ограждающих конструкциях зданий устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений с взрывоопасными зонами любого класса;

г) 8 м по горизонтали и вертикали от резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры); при наличии обвалования — в пределах всей площади внутри обвалования;

д) 20 м по горизонтали и вертикали от места открытого слива и налива для эстакад с открытым сливом и наливом ЛВЖ.

Эстакады с закрытыми сливно-наливными устройствами, эстакады и опоры под трубопроводы для горючих газов и ЛВЖ не относятся к взрывоопасным, за исключением зон в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры и фланцевых сое-

динений трубопроводов, в пределах которых электрооборудование должно быть взрывозащищенным для соответствующих категории и группы взрывоопасной смеси.

Зоны класса В-II — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).

Зоны класса В-IIа — зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

В таблице 1.8 приведена классификация взрывоопасных зон по степени опасности при использовании в них электрооборудования.

Согласно «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» в зависимости от частоты и длительности присутствия взрывоопасной смеси взрывоопасные зоны подразделяются на следующие классы:

- *0-й класс* — зоны, в которых взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или хотя бы в течение одного часа;

- *1-й класс* — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей, образующие с воздухом взрывоопасные смеси;

- *2-й класс* — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования взрывоопасные смеси горючих газов или паров легковоспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварии или повреждения технологического оборудования;

- *20-й класс (второй – нулевой класс)* — зоны, в которых взрывоопасные смеси горючей пыли с воздухом имеют нижний концентрационный предел воспламенения менее 65 граммов на кубический метр и присутствуют постоянно;

- *21-й класс (второй – первый класс)* — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовывать с воздухом

Таблица 1.8

Классификация взрывоопасных зон по ПУЭ

ВЗ	Распол. в помещ.	Веще- ство	Норм. режим работы	Дополнительные данные	Пример
В-I	Да	ГГ и пары ЛВЖ	Да		–хранение и переработка ЛВЖ; –установки приготовления резинового клея.
В-Ia	Да		Авария, неисправность	В-I допускается относить к В-Ia при выполнении подпунк- тов а) и б) п. 7.3.52. ПУЭ.	–помещения для хранения баллонов с ГГ; –насосные станции по перекачке ЛВЖ.
В-Iб	Да		Авария, неисправность	Зона в помещении: а) ГГ имеют НКПВ $> 15\%$ и резкий запах; б) применяется H_2 в таких ко- личествах, что $V_{вз,см} \geq 5\% V_{с.п.}$, нет образования ВОС; в) вещества применяются в малых количествах $V_{вз,см} \geq 5\% V_{с.п.}$	–машинные залы аммиачных компрес- соров и холодильных абсорбционных установок; –помещения электролиза воды, за- рядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей.
В-Iг	Нет, на- ружные установ- ки		Да	Состав и размер зон опреде- ляются подпунктами а) – д) п. 7.3.44. ПУЭ.	–пространство у наружных установок, содержащих ГГ или ЛВЖ; –наземные и подземные резервуары с ЛВЖ и ГГ.
В-II	Да	ВС пылей и волокон	Да		–помещения ТЭС по разгрузке угля и торфа.
В-IIa	Да		Авария, неисправность		–помещения топливоподачи топлива, угля.

взрывоопасные смеси при концентрации 65 и менее граммов на кубический метр;

– *22-й класс (второй – второй класс)* – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом при концентрации 65 и менее граммов на кубический метр, но возможно образование такой взрывоопасной смеси горючих пылей или волокон с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования.

В таблице 1.9 показано соответствие классов взрывоопасных зон по ПУЭ и «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности».

Таблица 1.9

Соответствие классов взрывоопасных зон по ПУЭ и
«Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности»

Вещества, образующие с воздухом взрывоопасные смеси	ПУЭ	Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
Горючие газы, пары ЛВЖ	–	0-й класс зоны
	Зона класса В-I	1-й класс зоны
	Зона класса В-Ia	2-й класс зоны
	Зона класса В-Iб	2-й или 1-й класс зоны
	Зона класса В-Iг	–
Горючие пыли, волокна	–	20-й класс зоны
	Зона класса В-II	21-й класс зоны
	Зона класса В-IIa	22-й класс зоны

1.6. Классификация взрывоопасных смесей

Взрывозащищенное электрооборудование имеет ряд специфических отличий от электрооборудования общего назначения. При выборе электрооборудования для взрывоопасных зон следует учитывать не только класс взрывоопасной зоны, но и физико-химические свойства взрывоопасных смесей.

Все взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом принято разделять на группы и категории.

В основу *классификации на группы* положена температура самовоспламенения смеси. В зависимости от температуры самовоспламенения по ПУЭ и ГОСТ 12.1.011-78 было установлено шесть групп взрывоопасных смесей горючих газов и паров ЛВЖ с воздухом: Т1–Т6. Группы взрывоопасных смесей приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10

Группы взрывоопасных смесей

Группа взрывоопасной смеси		Температура самовоспламенения, °С
По ПУЭ или ГОСТ 12.1.011-78		
T1	свыше	450
T2	>>	300 до 450
T3	>>	200 до 300
T4	>>	135 до 200
T5	>>	100 до 135
T6	>>	85 до 100

Опасность взрывоопасных смесей увеличивается с уменьшением их температуры самовоспламенения!

На *категории* взрывоопасные смеси принято разделять в зависимости от величины для данного вещества так называемого «*безопасного экспериментального максимального зазора*» (БЭМЗ) между плоскими фланцами у стандартной оболочки по ГОСТ 12.1.011-78.

БЭМЗ определяется по наиболее взрывоопасной концентрации (стехиометрической) — это то наибольшее значение зазора, при котором отсутствует передача взрыва из оболочки в камеру установки для определения категории взрывоопасной смеси.

В таблице 1.11 приведены условные обозначения категорий взрывоопасных смесей и соответствующие этим категориям величины БЭМЗ.

Чем меньше БЭМЗ, тем более опасна взрывоопасная смесь!

В технологических процессах производств обращаются обычно несколько горючих веществ, взрывоопасные смеси которых могут отличаться по категории и группе. В таких случаях категория и группа устанавливаются по наиболее опасной смеси.

Таблица 1.11

Обозначения категорий взрывоопасных смесей
и соответствующие этим категориям величины БЭМЗ

Категория взрыво- опасной смеси	БЭМЗ, мм		Примечание
По ПУЭ и ГОСТ 12.1.011-78			
I	свыше	1,0	Рудничный метан
II			Промышленные газы и пары
IIА	>>	0,9	То же
IIВ	>>	0,5 до 0,9	То же
IIС	до	0,5	То же

Категории и группы взрывоопасных смесей указываются обычно в пояснительной записке к проекту и на планах расположения силового и осветительного электрооборудования.

1.7. Пример определения класса пожаро- взрывоопасной зоны и категории помещения

Знание категории и группы взрывоопасной смеси необходимо для проверки соответствия запроектированного электрооборудования тем нормам, которые необходимо выполнить, чтобы предотвратить пожар или взрыв от электрооборудования на данном конкретном производстве.

Рассмотрим следующий пример определения класса пожаро-взрывоопасной зоны.

Пример 1.1. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны цеха получения дивинила. Технологический процесс протекает по непрерывному циклу при соответствующей герметизации аппаратов.

Решение:

I. Определяем класс взрывоопасной зоны по ПУЭ и «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности»:

1.) По условиям технологии применяется горючий газ дивинил. Согласно п. 7.3.16 ПУЭ цех относится к взрывоопасным зонам.

2.) Технологический процесс получения дивинила непрерывен, и аппараты герметичны. Согласно п. 7.3.41 ПУЭ помещение цеха

относится к взрывоопасным зонам класса **В-Ia**, что соответствует **2-му классу** взрывоопасных зон согласно статье 19 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности».

II. Определяем категорию и группу взрывоопасной смеси дивинила с воздухом по ПУЭ.

Согласно таблице 7.3.3 ПУЭ взрывоопасная смесь дивинила относится к категории **IIВ**, группа **T2**.

Для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара, применяется классификация помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г и Д. *Категории помещений* по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с таблицей 1.12.

При расчете критериев взрывопожарной опасности в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо-, паро-, пылевоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать горючие газовоздушные, паровоздушные, пылевоздушные смеси, определяется, исходя из следующих предпосылок:

- а)** происходит расчетная авария одного из аппаратов;
- б)** все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в)** происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат, по прямому и обратному потокам в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов определяют в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки с учетом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность

Таблица 1.12

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожаро- опасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б взрывопожаро- опасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 пожароопас- ность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б
Г умеренная пожароопас- ность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Примечания:

1. Методы определения категорий помещений А и Б устанавливаются в соответствии с СП 12.13130.2009, приложение А.
2. Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку. Разделение помещений на категории В1–В4 регламентируется положениями в соответствии с СП 12.13130.2009, приложение Б

отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;

- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

- 300 с при ручном отключении;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных), исходя из расчета, что 1 литр смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м², а остальных жидкостей — на 1 м² пола помещения;

д) происходит также испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежеокрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Количество пыли, которое может образовать пылевоздушную смесь, определяется из следующих предпосылок:

- расчетной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыделения из негерметичного производственного оборудования);

- в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80 % геометрического объема помещения.

Проиллюстрируем метод определения категории помещения следующим примером.

Пример 1.2. Определить категорию помещения размером 20 × 10 × 6 м, в котором расположено оборудование с ручным аварийным отключением общим объемом 225 м³, работающее с этиловым спиртом (C₂H₅OH — этанол), температура вспышки которого $t_{\text{всп}} = 13$ °С, температура самовоспламенения $t_{\text{сам}} = 404$ °С, нижний кон-

центрационный предел воспламенения НКПВ = 3,6 %, а верхний концентрационный предел воспламенения ВКПВ = 19 %. Максимальное давление взрыва, развиваемое при сгорании стехиометрической паровоздушной смеси этилового спирта в замкнутом объеме $P_{\max} = 707$ кПа. В помещении проводятся три технологических процесса. В результате возникновения аварийного режима в помещение может выбрасываться с возможностью образования аэрозоля 0,003 кг/сек пара этилового спирта от первого технологического процесса, 0,005 кг/сек пара этилового спирта от второго технологического процесса, и 0,004 кг/сек пара этилового спирта от третьего технологического процесса. Температура в помещении $t_p = 25$ °С, давление нормальное.

Решение.

1. Определим количество поступившего в помещение в результате аварии пара этилового спирта, который может образовать горючую паровоздушную смесь. Расчетное время отключения трубопроводов при ручном аварийном отключении следует принять равным 300 с.

а) для первого технологического процесса:

$$m_1 = 0,003 \cdot 300 = 0,9 \text{ (кг);}$$

б) для второго технологического процесса:

$$m_2 = 0,005 \cdot 300 = 1,5 \text{ (кг);}$$

в) для третьего технологического процесса:

$$m_3 = 0,004 \cdot 300 = 1,2 \text{ (кг);}$$

г) суммарное количество:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 0,9 + 1,5 + 1,2 = 3,6 \text{ (кг).}$$

2. Определим свободный объем помещения:

$$V_B = V_{\text{пом}} - V_6 = 20 \times 10 \times 6 - 225 = 975 \text{ (м}^3\text{)}.$$

3. Определим плотность пара этилового спирта для температуры в помещении с учетом того, что в соответствии с химической формулой молярная масса этилового спирта $M = 46$ кг/кмоль:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{22,413(1+0,00367 \cdot t_{\text{п}})} = \frac{46}{22,413(1+0,00367 \cdot 25)} = 1,88 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

4. Определим стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания с учетом того, что в соответствии с химической формулой в молекуле этилового спирта число атомов углерода $n_{\text{C}} = 2$, водорода $n_{\text{H}} = 6$ и кислорода $n_{\text{O}} = 1$:

$$\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2} = 2 + \frac{6}{4} - \frac{1}{2} = 3.$$

5. Определим стехиометрическую концентрацию паров этилового спирта:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1+4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1+4,84 \cdot 3} = 6,44\%.$$

6. Определим развиваемое избыточное давление взрыва паровоздушной смеси этилового спирта в помещении, приняв начальное давление $P_0 = 101$ кПа, коэффициент участия горючих газов и паров в горении $Z = 0,3$, а коэффициент, учитывающий негерметичность помещения $K_{\text{н}} = 3$:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}} = (707 - 101) \cdot \frac{3,6 \cdot 0,3}{975 \cdot 1,88} \cdot \frac{100}{6,44} \cdot \frac{1}{3} = 1,85 \text{ (кПа)}.$$

7. В помещении обращается легковоспламеняющаяся жидкость с температурой вспышки не более 28°C , однако в таком количестве, что развиваемое избыточное давление взрыва паровоздушной смеси этилового спирта в помещении *не превышает 5 килопаскалей*, следовательно, помещение относится к взрывопожароопасной категории Б.

8. Определим объем паров этилового спирта, поступившего в помещение при аварийной ситуации:

$$V_{\text{пар}} = \frac{m}{\rho_{\text{п}}} = \frac{3,6}{1,88} = 1,91 \text{ (м}^3\text{)}.$$

9. Определим минимальную взрывоопасную концентрацию паров в смеси.

Минимальной взрывоопасной концентрацией горючего в смеси является НКПВ. Для обеспечения пожаро- взрывобезопасности процессов производства, переработки, хранения и транспортирования веществ и материалов согласно ГОСТ 12.1.044-89 необходимо данные о показателях пожаро- взрывоопасности веществ и материалов использовать с некоторым запасом. Примем коэффициент запаса равным 1,5, тогда:

$$\varphi = \frac{\text{НКПВ} \%}{1,5} = \frac{3,6 \%}{1,5} = 2,4 \%.$$

10. Определим объем взрывоопасной паровоздушной смеси, для чего составим следующую пропорцию:

$$\begin{array}{l} 1,9 \text{ м}^3 - 2,4 \% \\ x \text{ м}^3 - 100 \%, \end{array}$$

откуда

$$x = \frac{1,91 \cdot 100}{2,4} = 79,6 \text{ (м}^3\text{)},$$

что составляет 8,2 % свободного объема помещения.

11. В помещении обращается легковоспламеняющаяся жидкость. Образование взрывоопасной концентрации возможно только в результате аварийной ситуации. Объем взрывоопасной смеси составляет 8,2 %, что *превышает 5 % свободного объема помещения*. В соответствии с ПУЭ, класс зоны во всем объеме рассматриваемого помещения — В-Ia.

1.8. Упражнения

1.1. В соответствии со следующей формой записи закона Ома:

$$I = \frac{U}{R}$$

видоизмените (1.3). От чего теперь зависит температура проводника? Какие причины возгораний описывает полученное выражение?

1.2. В соответствии со следующей формой записи закона Ома:

$$U = I \cdot R$$

видоизмените (1.3). Чем теперь определяется температура проводника? А теперь какие причины возгораний описывает полученное выражение?

1.3. В аппарате пропитки маслом конденсаторной бумаги контакт площадью 1 см^2 имеет переходное сопротивление $0,1 \text{ Ом}$. Температура среды, окружающей контакт, -70°C . Определите пожароопасную величину тока через контакт. Начертите график зависимости температуры контакта от величины его сопротивления при протекающем через контакт токе равном $0,76 \text{ А}$.

1.4. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны насосной бензина А-76.

1.5. Дать заключение о соответствии классу пожароопасной зоны помещений насосной и разливочной минеральных масел.

1.6. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны компрессорной гептана.

1.7. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны насосной сероуглерода.

1.8. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны цеха полимеризации (растворитель — бутилацетат).

1.9. Дать заключение о пожарной опасности деревообделочного цеха.

1.10. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны сливо-наливной эстакады сырой нефти.

1.11. Дать заключение о соответствии классу и среде зоны клеемешалок резинового клея. Растворитель — бензин «Галоша».

1.12. Определить категорию помещения размером $15 \times 10 \times 7$ м, в котором расположено оборудование с ручным аварийным отключением общим объемом 200 м^3 , работающее с этиловым спиртом ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ — этанол), температура вспышки которого $t_{\text{всп}} = 13^\circ\text{C}$, температура самовоспламенения $t_{\text{сам}} = 404^\circ\text{C}$, нижний концентрационный предел воспламенения НКПВ = 3,6 %, а верхний концентрационный предел воспламенения ВКПВ = 19 %. Максимальное давление взрыва, развиваемое при сгорании стехиометрической паровоздушной смеси этилового спирта в замкнутом объеме $P_{\text{max}} = 707 \text{ кПа}$. В помещении проводятся два технологических процесса. В результате возникновения аварийного режима в помещение может выбрасываться с возможностью образования аэрозоля $0,004 \text{ кг/сек}$ пара этилового спирта от первого технологического процесса, $0,008 \text{ кг/сек}$ пара этилового спирта от второго технологического процесса. Температура в помещении $t_p = 22^\circ\text{C}$, давление нормальное.

1.9. Вопросы для повторения

1. Перечислите основные причины возникновения пожаров при эксплуатации электроустановок.
2. Что включает в себя понятие «пожарная опасность электроустановок»?
3. Назовите источники пожарной опасности в различных электроустановках.
4. В чем состоит опасность короткого замыкания?
5. Каковы меры профилактики коротких замыканий?
6. Назовите причины перегрузок электропроводок и электродвигателей.
7. В чем состоит пожарная опасность перегрузок?
8. Каковы меры профилактики перегрузок?
9. В чем состоит пожарная опасность больших переходных сопротивлений?
10. Назовите меры уменьшения пожарной опасности больших переходных сопротивлений.
11. Что такое горючий газ?
12. Что такое горючая жидкость?

13. Что такое легковоспламеняющаяся жидкость?
14. Что такое температура вспышки?
15. Что такое температура самовоспламенения?
16. Что такое верхний и нижний концентрационные пределы воспламенения?
17. При каких температурах вспышки горючие жидкости относятся к ЛВЖ?
18. При каких температурах горючие газы относятся к взрывоопасным?
19. Перечислите группы взрывоопасных смесей.
20. Что такое безопасный максимальный экспериментальный зазор?
21. Что такое пожароопасная зона?
22. На какие классы делятся пожароопасные зоны?
23. Что такое взрывоопасная зона?
24. На какие классы делятся взрывоопасные зоны?

Глава 2

ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

2.1. Назначение и классификация электрооборудования

Под *электрооборудованием* понимают оборудование, предназначенное для производства, передачи, распределения и изменения характеристик (напряжения, частоты, вида электрического тока и др.) электрической энергии, а также для ее преобразования в другой вид энергии. К электрооборудованию относят трансформаторы, электрические машины и аппараты, измерительные приборы, устройства защиты, кабельную продукцию, бытовые электроприборы и т. д.

Конструктивное исполнение электрооборудования определяется тремя факторами: *способом монтажа, способом охлаждения и способом защиты от воздействия окружающей среды.*

1). *Конструктивное исполнение электрических машин по способу монтажа* оговорено в ГОСТ 2479-79. Условное обозначение этого исполнения состоит из латинских букв IM и четырех цифр (от 1 до 9 — первая цифра и от 0 до 9 — остальные). Первая цифра обозначает конструктивное исполнение машины. Например: 1 — машина на лапах с подшипниковыми щитами; 3 — машина без лап с подшипниковыми щитами; 5 — машина без подшипниковых щитов; 7 — машина на лапах со стоячковыми подшипниками; 8 — машина с вертикальным валом.

Вторая и третья цифры обозначают способ монтажа. Например: 00 — машина устанавливается выходным концом вала горизонтально влево; 03 — машина устанавливается выходным концом вала вертикально вверх; 07 — машина устанавливается выходным концом вала горизонтально вправо.

Четвертая цифра обозначает исполнение выходного конца вала. Например: 0 — машина не имеет выходного конца вала; 1 — машина имеет один цилиндрический конец вала; 2 — машина имеет два цилиндрических конца вала; 3 — машина имеет один конический конец вала; 5 — машина имеет один фланцевый конец вала.

2). *Способ охлаждения электрических машин* в соответствии с ГОСТ 20459-87 обозначается латинскими буквами IC и последующей

группой знаков из одной буквы и двух цифр. Латинская буква обозначает вид хладагента, используемого для охлаждения: А (или отсутствие буквы) — воздух; N — азот; H — водород; C — углекислый газ; F — фреон; W — вода; V — трансформаторное масло; Kг — керосин.

Первая цифра обозначает устройство цепи для циркуляции хладагента (от 0 до 9). Например: 0 — свободная циркуляция хладагента между машиной и окружающей средой; 4 — первичный хладагент циркулирует по замкнутому контуру внутри машины и отдает тепло через поверхность корпуса вторичному хладагенту — окружающей среде; 7 — первичный хладагент циркулирует по замкнутому контуру и отдает тепло вторичному хладагенту, не являющемуся окружающей средой, в охладителе, встроенном в электрическую машину.

Вторая цифра определяет способ перемещения хладагента (от 0 до 9). Например: 0 — свободная конвекция хладагента за счет разницы температур при незначительном вентилирующем действии ротора; 1 — самовентилиация за счет вентилирующего действия ротора; 5 — вентиляция при помощи встроенного вентилятора, имеющего независимое от охлаждающей машины питание; 8 — движение хладагента осуществляется за счет относительного движения машины через хладагент.

Способ охлаждения силовых трансформаторов имеет в соответствии с ГОСТ 11677-85 буквенное обозначение и зависит от вида изолирующей и охлаждающей среды. Различаются масляные и сухие (воздушные) трансформаторы; трансформаторы, заполненные жидким негорючим диэлектриком; трансформаторы с литой и элегазовой изоляцией.

Сухие трансформаторы имеют четыре условных обозначения системы охлаждения: С — естественное воздушное при открытом исполнении; СЗ — то же при защищенном исполнении; СГ — то же при герметичном исполнении; СД — воздушное с принудительной циркуляцией воздуха.

Масляные трансформаторы имеют восемь различных систем охлаждения: М — с естественной циркуляцией масла и воздуха; Д — с естественной циркуляцией масла и принудительной циркуляцией воздуха; МЦ — с естественной циркуляцией воздуха и с принудительной циркуляцией масла с ненаправленным потоком масла; НМЦ — то же, что МЦ, но с направленным потоком масла; ДЦ — с принудительной циркуляцией воздуха и масла (с ненаправленным потоком);

НДЦ — то же, что ДЦ, но с направленным потоком масла; Ц — с принудительной циркуляцией воды и масла (с ненаправленным потоком); НЦ — то же, что Ц, но с направленным потоком масла.

Трансформаторы с жидким негорючим диэлектриком имеют три системы охлаждения: Н — естественное охлаждение; НД — то же, что Н, но с принудительной циркуляцией воздуха; ННД — с принудительной циркуляцией воздуха и направленным потоком жидкого диэлектрика.

3). По способу защиты от воздействия окружающей среды установлено 10 вариантов климатических исполнений и 5 категорий размещения электрооборудования.

В соответствии с ГОСТ 15150-69 в таблице 2.1 приведены нормальные значения температуры внешней среды.

Исполнение У — для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом; УХЛ — для районов с умеренным и холодным климатом; ТС (ТВ) — для районов с тропическим сухим и влажным климатом; М (ТМ) — для районов с умеренно холодным и тропическим морским климатом; Т — для всех районов на суше, имеющих тропический климат; О — для всех районов на суше; ОМ — для всех районов на море; В — для всех районов на суше и на море.

Таблица 2.1

Температура воздуха при эксплуатации

Исполнение	Категория размещения	Рабочее (предельное) значение температуры	
		Максимальное, °С	Минимальное, °С
У	1, 2, 3 5	+40 (+45) +35 (+35)	-45 (-50) -5 (-5)
УХЛ	1, 2, 3 5	+40 (+45) +35 (+35)	-60 (-70) -10 (-10)
Т, ТС	1, 2, 3 5	+50 (+60) +35 (+35)	-10 (-10) +1 (+1)
О	1, 2 5	+50 (+60) +35 (+35)	-60 (-70) -10 (-10)
М	1, 2, 3, 5	+40 (+45)	-40 (-40)
ОМ	1, 2, 3, 5	+45 (+45)	-40 (-40)
В	1, 2, 3 5	+50 (+60) +45 (+45)	-60 (-70) -40 (-40)

Категория размещения 1 — предусматривает эксплуатацию электрооборудования на открытом воздухе; 2 — эксплуатацию под навесом, при которой отсутствует прямое воздействие осадков и солнечной радиации; 3 — эксплуатацию в закрытых помещениях, в которых воздействие песка, пыли и колебаний температуры и влажности существенно меньше, чем на открытом воздухе; 4 — предусматривает работу электрооборудования в помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями (кондиционирование воздуха); 5 — эксплуатацию в помещениях с повышенной влажностью, в которых возможно длительное наличие воды или чистая конденсация влаги на стенах и потолке.

В зависимости от степени пожаровзрывоопасности и пожарной опасности электрооборудование подразделяется на следующие виды:

- электрооборудование без средств пожаро- и взрывозащиты;
- пожарозащищенное электрооборудование (для пожароопасных зон);
- взрывозащищенное электрооборудование (для взрывоопасных зон).

Под степенью пожаровзрывоопасности и пожарной опасности электрооборудования понимается опасность возникновения источника зажигания внутри электрооборудования и/или опасность контакта источника зажигания с окружающей электрооборудование горючей средой.

Электрооборудование без средств пожаро- и взрывозащиты по уровням пожарной защиты и взрывозащиты не классифицируется.

2.2. Классификация пожарозащищенного электрооборудования и его маркировка

Корпус электрической машины, кожух или бак трансформатора и электрического аппарата образуют оболочку, обеспечивающую защиту внутреннего объема электрооборудования от попадания внутрь твердых предметов и влаги, а также защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями, расположенными внутри оболочки.

Электрооборудование, применяемое в пожароопасных зонах, классифицируется по степени защиты от проникновения внутрь воды и внешних твердых предметов, обеспечиваемой конструкцией этого электрооборудования.

Степень защиты пожарозащищенного электрооборудования регламентируется «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» и обозначается латинскими буквами IP (International Protection — международная защита) и двумя цифрами, например, IP23. При отсутствии необходимости в нормировании характеристической цифры ее заменяют на букву X (или XX, если опущены две цифры). ГОСТ 14254 – 96 допускает наличие еще двух (дополнительной и вспомогательной) букв, например IP23CH. Дополнительные и/или вспомогательные буквы опускают без замены.

Первая цифра характеризует попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел и степень защиты персонала от соприкосновения с опасными (токоведущими или подвижными) частями. Степени защиты от внешних твердых предметов и от доступа к опасным частям, обозначаемые первой характеристической цифрой, приведены соответственно в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

Степени защиты пожарозащищенного электрооборудования от внешних твердых предметов (код IP)

Первая характеристическая цифра	Краткое описание степени защиты
0	Нет защиты
1	Защита от проникновения твердых тел диаметром ≥ 50 мм
2	Защита от проникновения твердых тел диаметром $\geq 12,5$ мм
3	Защита от проникновения твердых тел диаметром $\geq 2,5$ мм
4	Защита от проникновения твердых тел диаметром ≥ 1 мм
5	Защита от вредного проникновения пыли, которое предотвращается не полностью, но не приводит к нарушению нормальной работы электрооборудования или снижению его безопасности
6	Полная защита от проникновения пыли (пыленепроницаемо)

Таблица 2.3

Степени защиты от доступа к опасным частям (код IP)

Первая характеристическая цифра	Краткое описание степени защиты
0	Нет защиты
1	Защита от доступа к опасным частям тыльной стороной руки
2	Защита от доступа к опасным частям пальцем руки
3	Защита от доступа к опасным частям инструментом
4	Защита от доступа к опасным частям проволокой
5	Защита от доступа к опасным частям проволокой
6	Защита от доступа к опасным частям проволокой

Вторая цифра характеризует степень защиты электрооборудования от проникновения внутрь оболочки влаги. Степени защиты от проникновения воды, обозначаемые второй характеристической цифрой, приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Степени защиты пожарозащищенного электрооборудования от проникновения воды (код IP)

Вторая характеристическая цифра	Краткое описание степени защиты
0	Нет защиты
1	Защита от вертикально падающих капель
2	Защита от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена от вертикали в любую сторону на угол до 15° включительно
3	Защита от воды, падающей в виде дождя (брызг) в любом направлении, составляющем угол до 60° включительно с вертикалью
4	Защита от сплошного обрызгивания, когда брызги летят на оболочку с любого направления
5	Защита от водяных струй, попадающих на оболочку с любого направления из сопла с внутренним диаметром 6,3 мм
6	Защита от сильных водяных струй, попадающих на оболочку с любого направления из сопла с внутренним диаметром 12,5 мм
7	Защита от временного погружения в воду не более чем на 30 мин
8	Защита от длительного погружения в воду более чем на 30 мин

Таблица 2.5

Степени защиты от доступа к опасным частям,
обозначаемые дополнительной буквой (код IP)

Дополнительная буква	Краткое описание степени защиты
A	Защита от доступа к опасным частям тыльной стороной руки
B	Защита от доступа к опасным частям пальцем руки
C	Защита от доступа к опасным частям инструментом
D	Защита от доступа к опасным частям проволокой

Дополнительная буква обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям. Дополнительные буквы используются только:

- если действительная защита от доступа к опасным частям выше защиты, указанной первой характеристической цифрой;
- если обозначена только защита от доступа к опасным частям, а первая характеристическая цифра заменена символом X. Степени защиты от доступа к опасным частям, обозначаемые дополнительной буквой, приведены в таблице 2.5.

Вспомогательная буква несет дополнительную информацию, приведенную в таблице 2.6.

Таблица 2.6

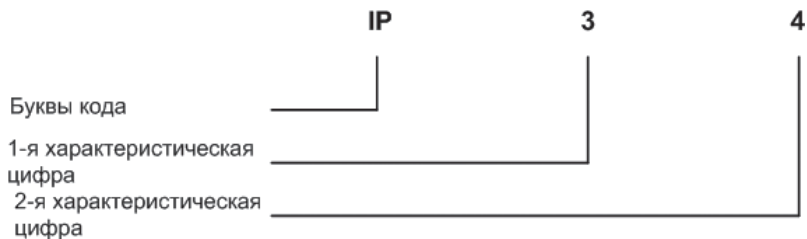
Степени защиты от доступа к опасным частям,
обозначаемые вспомогательной буквой (код IP)

Вспомогательная буква	Значение буквы
H	Высоковольтные аппараты
M	Испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды: оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии движения
S	Испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды: оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии неподвижности

Ниже представлены примеры кодирования по коду IP.

Пример 2.1. Код IP без использования букв.

Оболочка с указанным ниже обозначением (код IP):



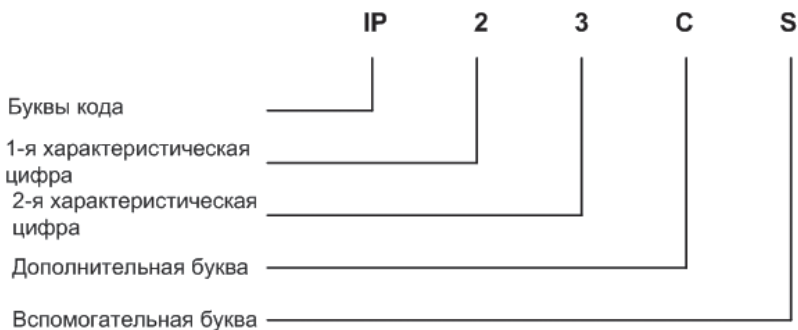
(3) – защищает людей, держащих в руках инструмент диаметром, равным либо бóльшим 2,5 мм, от доступа к опасным частям;

– защищает оборудование внутри оболочки от проникновения внешних твердых предметов диаметром, равным либо бóльшим 2,5 мм;

(4) – защищает оборудование внутри оболочки от вредных воздействий вследствие обрызгивания оболочки водой со всех сторон.

Пример 2.2. Код IP с использованием букв.

Оболочка с указанным ниже обозначением (код IP):



(2) – защищает людей от доступа к опасным частям пальцами рук;
– защищает оборудование внутри оболочки от попадания внешних твердых предметов диаметром, равным или бóльшим 12,5 мм;

(З) – защищает оборудование внутри оболочки от вредного воздействия воды в виде дождя;

(С) – защищает людей от доступа к опасным частям, если они держат в руках инструмент диаметром, равным либо бóльшим 2,5 мм и длиной 100 мм (инструмент может проникать на всю длину в оболочку);

(S) – подвергнута испытанию на соответствие защите от вредных воздействий вследствие попадания воды, когда все части оборудования находятся в состоянии неподвижности.

Знание маркировки пожарозащищенного электрооборудования позволяет проверить, правильно ли были учтены параметры окружающей среды при проектировании.

2.3. Назначение и маркировка взрывозащищенного электрооборудования по «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» и ПУЭ

Электрооборудование, выполненное без учета специфических требований, характерных для определенной отрасли национальной экономики, является электрооборудованием общего назначения. Применение его во взрывоопасных зонах недопустимо, т. к. электрооборудование может искрить или нагреваться до опасных температур и явиться причиной пожара или взрыва. Поэтому во взрывоопасных зонах следует применять специальное взрывозащищенное электрооборудование.

Взрывозащищенным называется электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры по устранению (или затруднению) возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

Взрывозащищенное электрооборудование подразделяется по *уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам.*

Уровень взрывозащиты электрооборудования – это степень его взрывозащиты (надежности) при установленных нормативными документами условиях.

Взрывозащищенное электрооборудование *по уровням взрывозащиты* подразделяется на следующие виды:

- *особовзрывобезопасное* электрооборудование (уровень 0);

- взрывобезопасное электрооборудование (*уровень 1*);
- электрооборудование *повышенной надежности против взрыва* (*уровень 2*).

Особовзрывобезопасное электрооборудование — это взрывобезопасное электрооборудование с дополнительными средствами взрывозащиты.

Взрывобезопасное электрооборудование обеспечивает взрывозащиту как при нормальном режиме работы оборудования, так и при повреждении, за исключением повреждения средств взрывозащиты.

Электрооборудование *повышенной надежности против взрыва* обеспечивает взрывозащиту только при нормальном режиме работы оборудования (при отсутствии аварий и повреждений).

Если в состав взрывозащищенного электрооборудования входят элементы с различным уровнем взрывозащиты, общий уровень взрывозащиты устанавливается по элементу, имеющему наиболее низкий уровень.

Вид взрывозащиты электрооборудования — совокупность средств его взрывозащиты, установленная нормативными документами.

Виды взрывозащиты обеспечивают различные уровни взрывозащиты. Виды взрывозащиты различаются средствами и мерами обеспечения взрывобезопасности, оговоренными в стандартах на соответствующие виды взрывозащиты.

Взрывозащищенное электрооборудование *по видам взрывозащиты* подразделяется на оборудование, имеющее:

- а) *взрывонепроницаемую оболочку (d)*;

Взрывонепроницаемая оболочка представляет собой прочную закрытую конструкцию, состоящую из одной или нескольких полостей и имеющую в местах сочленения элементов фланцы и зазоры. Иногда взрывонепроницаемая оболочка органически входит в конструкцию электрооборудования, например, в электродвигателях. В большинстве же случаев она представляет собой отдельный элемент электрооборудования, применяемый только для обеспечения взрывонепроницаемости (например, у магнитных пускателей, кнопок управления и т. п.).

- б) *заполнение или продувку оболочки под избыточным давлением защитным газом (p)*;

Токоведущие или находящиеся под напряжением части этого электрооборудования, в том числе электрооборудования общего назначения, встраиваются в оболочку, заполняемую или продуваемую под избыточным давлением защитным газом.

Защитный газ — негорючий газ, который находится в оболочке электрооборудования под избыточным давлением и предотвращает проникновение внутрь оболочки окружающей взрывоопасной среды.

В качестве защитного газа для заполнения или продувки оболочки под избыточным давлением применяется атмосферный воздух или азот.

в) *искробезопасную электрическую цепь (i)*;

Оборудование характеризуется тем, что искры, возникающие при нормальной работе или при повреждениях (обрыв, короткое замыкание и т. п.), не могут воспламенить взрывоопасную среду. Безопасность такого оборудования не может быть нарушена в процессе эксплуатации ни по ошибке, ни по небрежности.

При оценке искробезопасности электрической цепи исходят из понятий минимального воспламеняющего и искробезопасного тока, напряжения, мощности или энергии.

г) *кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями (q)*;

Кварцевый песок определенной кондиции обладает рядом ценных свойств: достаточно высокой электрической прочностью, способностью понижать давление при взрыве парогазовоздушной смеси в оболочке, большой взрывонепроницаемостью.

Взрывозащита электрооборудования с токоведущими или находящимися под напряжением частями, погруженными в такой песок, достигается не только исключением прямого соприкосновения с взрывоопасной средой, но и тем, что взрывоопасная смесь, находящаяся между песчинками, в этих условиях не горит, а электрическая дуга, раскаленные металлические частицы и раскаленная стекловидная масса, образующаяся при действии дуги на песок, не прорываются наружу через защитный слой песка. Толщина защитного слоя песка зависит от номинального напряжения, мощности и времени действия дугового короткого замыкания.

д) *масляное заполнение оболочки с токоведущими частями (o)*;

Электрические части оборудования находятся под защитным слоем масла. Слой холодного масла над любой точкой, в которой может произойти искрение, должен быть минимум на 25 мм выше всех

токоведущих и находящихся под напряжением частей. Это необходимо, чтобы выделившаяся при искрении или дугообразовании смесь горючих газов (водород, ацетилен и др.) и углекислого газа, поднимаясь вверх через слой масла, успела охладиться не только ниже температуры самовоспламенения, но и ниже температуры самовоспламенения тех газов, которые могут проникать внутрь кожуха из атмосферы.

е) *специальный вид взрывозащиты*, определяемый особенностями объекта (**s**);

Основан на средствах, эффективность и достаточность которых признаны испытательными организациями и согласованы с Госгортехнадзором. Например, токоведущие части электрооборудования могут быть заключены в оболочку с заливкой эпоксидным компаундом, герметиком и другими веществами, обладающими электроизоляционными свойствами.

Защитная оболочка с заливкой эпоксидными смолами используется для защиты маломощного электрооборудования, трансформаторов малой мощности, катушек, блоков конденсаторов или сопротивлений и другого электрооборудования, не имеющего подвижных частей.

ж) *любой иной вид защиты* (**e**);

В электрооборудовании или его части, не имеющих нормально искрящих частей, принят ряд мер дополнительно к используемым в электрооборудовании общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и др. Например: применение электроизоляционных материалов высокого качества, т. е. стойких к влаге, воздействию химически активных веществ, а также к скользящим разрядам (твердые диэлектрики), исключающих образование дуги и последующие короткие замыкания; снижение температур нагрева изоляционных обмоток (по сравнению с допустимыми по ГОСТу для данного класса изоляции) не менее чем на 10°C; установление предельных температур нагрева поверхности любых частей электрооборудования, более низких, чем температура самовоспламенения смеси горючих газов, паров или пыли с воздухом или чем температура тления пыли, оседающей на деталях электрооборудования, и др.

Взрывозащищенное электрооборудование по допустимости применения в зонах подразделяется на *группы оборудования*:

- для сред с рудничным метаном (*группа I*);
- для сред с промышленными газами и парами (*группа II*).

Электрооборудование группы II, имеющее виды взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и/или «искробезопасная электрическая цепь», подразделяется на три подгруппы, соответствующие категориям взрывоопасных смесей согласно таблице 2.7.

Таблица 2.7

Подгруппы электрооборудования группы II
с видами взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка»
и (или) «искробезопасная электрическая цепь»

Знак группы электрооборудования	Знак подгруппы электрооборудования	Категория взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
II	— IIA IIB IIC	IIA, IIB и IIC IIA IIA и IIB IIA, IIB и IIC

Электрооборудование, имеющее маркировку IIC, пригодно также для применения там, где требуются электрооборудование IIA, IIB, а имеющее маркировку IIB пригодно также для применения там, где требуется электрооборудование подгруппы IIA.

Электрооборудование группы II в зависимости от значения предельной температуры поверхности подразделяется на шесть температурных классов, соответствующих группам взрывоопасных смесей согласно таблице 2.8.

Таблица 2.8

Температурные классы электрооборудования группы II

Знак температурного класса электрооборудования	Предельная температура, °C	Группа взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
T1	450	T1
T2	300	T1, T2
T3	200	T1–T3
T4	135	T1–T4
T5	100	T1–T5
T6	85	T1–T6

Предельная температура — наибольшая температура поверхностей взрывозащищенного электрооборудования, безопасная в отношении воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

Таблица 2.9

Примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования

Уровень взрывозащиты	Вид взрывозащиты	Группа (подгруппа)	Температурный класс	Маркировка по взрывозащите
Электрооборудование повышенной надежности против взрыва	Защита вида «е»	II	T6	2ExeIIT6
	Защита вида «е» и взрывонепроницаемая оболочка	IIВ	T3	2ExedIIBT3
	Искробезопасная электрическая цепь	IIС	T6	2ExiICT6
	Продувка оболочки под избыточным давлением	II	T6	2ExpIIT6
	Взрывонепроницаемая оболочка и искробезопасная электрическая цепь	IIВ	T5	2ExdiIIBT5
Взрывобезопасное электрооборудование	Взрывонепроницаемая оболочка	IIА	T3	1ExdIIAT3
	Искробезопасная электрическая цепь	IIС	T6	1ExiICT6
	Заполнение оболочки под избыточным давлением	II	T6	1ExpIIT6
	Защита вида «е»	II	T6	1ExeIIT6
	Кварцевое заполнение оболочки	II	T6	1ExqIIT6
	Специальный	II	T6	1ExsIIT6
	Специальный и взрывонепроницаемая оболочка	IIА	T6	1ExsdIIAT6
Особо взрывобезопасное электрооборудование	Специальный, искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	IIВ	T4	1ExsidIIBT4
	Искробезопасная электрическая цепь	IIС	T6	0ExiICT6
	Искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	IIА	T4	0ExidIIAT4
	Специальный и искробезопасная электрическая цепь	IIС	T4	0ExsiICT4

Согласно «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» взрывозащищенное электрооборудование должно иметь *маркировку*. В приведенной ниже последовательности должны указываться:

- знак уровня взрывозащиты электрооборудования (**2, 1, 0**);
- знак, относящий электрооборудование к взрывозащищенному (**Ex** – explosion proof – взрывозащищенный);
- знак вида взрывозащиты (**d, p, i, q, o, s, e**);
- знак группы или подгруппы электрооборудования (**I, II, III, IV, V, VI**);
- знак температурного класса электрооборудования (**T1, T2, T3, T4, T5, T6**).

В соответствии с ПУЭ в маркировке по взрывозащите могут иметь место дополнительные знаки и надписи в соответствии со стандартами на электрооборудование с отдельными видами взрывозащиты. Примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования приведены в таблице 2.9.

2.4. Назначение и маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007

В разных странах взрывоопасные смеси классифицируются по разным параметрам, по-разному нормируются и средства взрывозащиты. Все это осложняет установку соответствия взрывозащищенного электрооборудования, выполненного по стандартам других стран нормам взрывозащиты, принятым в Российской Федерации.

Сертификация соответствия считается *основным достоверным способом доказательства соответствия* продукции заданным требованиям.

Сертификация в переводе с латыни означает «сделано верно». Для того чтобы убедиться в том, что продукт «сделан верно», т. е. *установить соответствие*, продукт подвергают *испытанию*. Под *испытанием* понимают техническую операцию, заключающуюся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции в соответствии с установленной процедурой по принятым правилам. Испытания осуществляют в *испытательных лабораториях*.

Систематическую проверку степени соответствия заданным требованиям принято называть *оценкой соответствия*. Более частным понятием оценки соответствия считают *контроль*, который рассматривают как оценку соответствия путем измерения конкретных характеристик продукта.

В оценке соответствия наиболее достоверными считаются результаты испытаний «третьей стороной». *Третья сторона* — это орган, признанный независимым ни от поставщика (первая сторона), ни от заказчика (вторая сторона).

С оценкой соответствия связаны *проверка соответствия*, *надзор за соответствием*, *обеспечение соответствия*. *Проверка соответствия* — подтверждение соответствия продукции установленным требованиям посредством изучения доказательств. *Надзор за соответствием* — это повторная оценка с целью убедиться в том, что продукция продолжает соответствовать установленным требованиям посредством доказательств. *Обеспечение соответствия* — это процедура, результатом которой является заявление, дающее уверенность в том, что продукция соответствует заданным требованиям.

Правила и процедуры проведения обязательной сертификации взрывозащищенного электрооборудования (Ех — оборудование), предназначенного для взрывоопасных сред, устанавливают ПБ 03-538-03.

Согласно ПБ 03-538-03 способом указания соответствия стандартам является сертификат соответствия. Сертификат соответствия, выданный на основании ПБ 03-538-03, используется для получения разрешения Госгортехнадзора России на применение Ех — оборудования.

Сертификации подлежит Ех — оборудование, в том числе Ех — изделия (изделие, которое полностью или частично применяется для использования электрической энергии и включающее один или более видов взрывозащиты для условий потенциально взрывоопасной газовой среды), входящие в состав другого оборудования и установок, включенных в «Номенклатуру продукции (работ) и услуг, в отношении которых законодательными актами Российской Федерации предусмотрена их обязательная сертификация».

При положительных результатах сертификации заявителю выдается сертификат соответствия (сертификат) на Ех — оборудование серийного производства, партию или единичное изделие.

В сертификате на Ех – оборудование должны указываться условия применения (группа I и (или) группа II, см. ниже).

При сертификации Ех – оборудования с нетрадиционным способом обеспечения взрывозащиты испытания проводятся на соответствие стандартам, определяемым органом по сертификации, а программа его испытания согласовывается с Госгортехнадзором России.

В соответствующих случаях обязательной составной частью сертификата соответствия на Ех – оборудование, подлежащего обязательной сертификации в области пожарной безопасности, является сертификат пожарной безопасности.

Нормативной основой сертификации Ех – оборудования являются государственные стандарты на Ех – оборудование, гармонизированные со стандартами МЭК и европейскими нормами ЕН, и нормативные документы Госгортехнадзора России.

ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007 модифицирован по отношению к международному стандарту МЭК 60079-0:2007 «Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования» (IEC 60079-0:2007 Ed. 5.0: “Explosive atmospheres — Part 0: Equipment — General requirements”).

ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007 (введен в действие с 01.01.2009 г.) вводит альтернативный метод оценки риска, чтобы показать присущий электрооборудованию риск воспламенения независимо от используемого вида взрывозащиты.

Система *уровней взрывозащиты электрооборудования* здесь следующая.

1) Шахты, опасные по рудничному газу (метану) (группа I):

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Ma**;

Электрооборудование для установки в шахтах, опасных по рудничному газу (метану), с уровнем взрывозащиты «очень высокий», характеризующееся надежной защищенностью и малой вероятностью стать источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации или при предполагаемых или редких неисправностях при сохранении питания электрической энергией даже в присутствии выброса газа.

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Mb**;

Электрооборудование для установки в шахтах, опасных по рудничному газу (метану), с уровнем взрывозащиты «высокий»,

характеризующееся надежной защищенностью и малой вероятностью стать источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации или при предполагаемых неисправностях в течение времени от момента выброса газа до момента отключения питания электрической энергией.

2) Газы (группа II):

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Ga**;

Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред, имеющее «очень высокий», уровень защиты, не являющееся источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации, при предполагаемых или редких неисправностях.

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Gb**;

Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред, имеющее «высокий» уровень защиты, не являющееся источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации или при предполагаемых неисправностях и вероятность которого стать источником воспламенения в течение времени от момента возникновения взрывоопасной атмосферы до момента отключения питания электрической энергией мала.

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Gc**;

Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред, имеющее «повышенный» уровень защиты, не являющееся источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации и могущее иметь дополнительную защиту, обеспечивающую ему свойства неактивного источника воспламенения при предполагаемых регулярных неисправностях (например, при выходе из строя лампы).

3) Пыль (группа III):

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Da**;

Электрооборудование для взрывоопасных пылевых сред, имеющее «очень высокий» уровень защиты, не являющееся источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации, при предполагаемых или редких неисправностях.

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Db**;

Электрооборудование для взрывоопасных пылевых сред, имеющее «высокий» уровень защиты, не являющееся источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации или при предполагаемых неисправностях, характеризующееся малой вероятностью стать источником воспламенения в течение времени от момента

возникновения взрывоопасной пылевой атмосферы до момента отключения питания электрической энергией.

– уровень взрывозащиты электрооборудования **Dc**;

Электрооборудование для взрывоопасных пылевых сред, имеющее «повышенный» уровень защиты, не являющееся источником воспламенения в нормальных условиях эксплуатации и могущее иметь дополнительную защиту, обеспечивающую ему свойства неактивного источника воспламенения при предполагаемых регулярных неисправностях (например, при выходе из строя лампы).

В большинстве ситуаций с типичными потенциальными последствиями взрыва руководствуются таблицей 2.10 для применения электрооборудования в зонах (*это не относится к шахтам, опасным по рудничному газу (метану), для которых принцип зон обычно не применяют*).

Таблица 2.10

Традиционная взаимосвязь уровней взрывозащиты электрооборудования и зон (без дополнительной оценки риска)

Уровень взрывозащиты электрооборудования	Класс зоны
Ga	0
Gb	1
Gc	2
Da	20
Db	21
Dc	22

Электрооборудование для взрывоопасных сред ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007 *подразделяет на следующие группы*:

а) электрооборудование *группы I*;

Электрооборудование группы I предназначено для применения в шахтах, опасных по рудничному газу (метану). Следует отметить, что виды взрывозащиты, применяемые в электрооборудовании группы I, совместно с защитой, обеспечиваемой оболочкой такого электрооборудования, применяемого в шахтах, не допускают воспламенения как рудничного газа (метана), так и угольной пыли.

б) электрооборудование *группы II*;

Электрооборудование группы II предназначено для применения во взрывоопасных газовых средах в помещениях и наружных установках (*кроме шахт, опасных по рудничному газу (метану)*).

Электрооборудование группы II может быть подразделено на подгруппы в соответствии с категорией взрывоопасности смеси, для которой оно предназначено:

- *подгруппа IIА* — типовым газом является пропан;
- *подгруппа IIВ* — типовым газом является этилен;
- *подгруппа IIС* — типовым газом является водород.

в) электрооборудование *группы III*;

Электрооборудование группы III предназначено для применения во взрывоопасных пылевых средах (*кроме шахт, опасных по рудничному газу (метану)*).

Электрооборудование группы III может быть подразделено на подгруппы в соответствии с характеристикой конкретной взрывоопасной среды, для которой оно предназначено:

- *подгруппа IIIА* — в среде, содержащей горючие летучие частицы;
- *подгруппа IIIВ* — в среде, содержащей непроводящую пыль;
- *подгруппа IIIC* — в среде, содержащей проводящую пыль.

Электрооборудование, маркированное как IIВ, пригодно также для применения там, где требуется электрооборудование подгруппы IIIА; электрооборудование с маркировкой IIС пригодно также для применения там, где требуется электрооборудование подгруппы IIIА или IIIВ.

Требованиями стандарта устанавливается максимальная температура поверхности: так, для электрооборудования *группы I* максимальная температура поверхности не должна превышать:

- 150 °С — в случае поверхностей, на которых возможно отложение угольной пыли в виде слоя;
- 450 °С — если исключено отложение угольной пыли в виде слоя (например, на элементах внутри пылезащитной оболочки).

Температура поверхности электрооборудования *группы II* соответствует таблице 2.8.

Для электрооборудования *группы III* максимальная температура поверхности *без слоя пыли* не должна превышать:

- максимальную температуру поверхности, маркированную на электрооборудовании, или

– температуру самовоспламенения слоя или облака конкретной горючей пыли, для использования в среде которой это электрооборудование предназначено.

Максимальная температура поверхности электрооборудования *со слоем пыли* определяется так же, как для слоя пыли указанной толщины T_L при условии, что пыль покрывает все части и поверхности электрооборудования, если в документации изготовителя не предусмотрено иное.

Электрооборудование должно иметь легко читаемую *маркировку* на основной части корпуса снаружи электрооборудования, которая должна быть видна до и после установки электрооборудования.

Маркировка по взрывозащите для взрывоопасных газовых сред должна включать в себя:

а) знак **Ex**, относящий электрооборудование к взрывозащищенному;

б) знак вида взрывозащиты (**d, p, i, q, o, s, e**);

в) знак группы или подгруппы электрооборудования (**I, II, IIA, IIB, IIC**);

г) для электрооборудования группы II знак температурного класса электрооборудования (**T1, T2, T3, T4, T5, T6**);

д) знак уровня взрывозащиты электрооборудования (**Ma, Mb**, или **Ga, Gb, Gc**).

Маркировка должна быть размещена в перечисленной последовательности и разделена пробелом.

Маркировка по взрывозащите для взрывоопасных пылевых сред должна включать в себя:

а) знак **Ex**, относящий электрооборудование к взрывозащищенному;

б) обозначение каждого примененного вида взрывозащиты для пылевых сред:

ta — защита оболочкой (для уровня взрывозащиты электрооборудования Da);

tb — защита оболочкой (для уровня взрывозащиты электрооборудования Db);

tc — защита оболочкой (для уровня взрывозащиты электрооборудования Dc);

ia — искробезопасность (для уровня взрывозащиты электрооборудования Da);

ib — искробезопасность (для уровня взрывозащиты электрооборудования Db);

ic — искробезопасность (для уровня взрывозащиты электрооборудования Dc) — *находится на рассмотрении*;

ma — герметизация компаундом (для уровня взрывозащиты электрооборудования Da);

mb — герметизация компаундом (для уровня взрывозащиты электрооборудования Db);

mc — герметизация компаундом (для уровня взрывозащиты электрооборудования Dc) — *находится на рассмотрении*;

p — заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением (для уровня взрывозащиты электрооборудования Db или Dc).

в) знак группы (подгруппы) электрооборудования (**IIA, IIB, IIC**);

г) значение максимальной температуры поверхности в градусах Цельсия, перед которым ставят знак **T**, например: T90 °C (маркировка максимальной температуры поверхности электрооборудования, покрытого слоем пыли толщиной L, должна включать в себя значение температуры в градусах Цельсия и толщину слоя, которую приводят в миллиметрах в нижнем индексе, например T₅₀₀320 °C);

д) знак уровня взрывозащиты электрооборудования (**Da, Db, Dc**);

е) степень защиты, обеспечиваемую оболочкой (**код IP**), например IP54.

Маркировка должна быть размещена в перечисленной последовательности и разделена пробелом.

Ниже приведены некоторые *примеры маркировки по ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007*.

Электрооборудование с уровнем взрывозащиты электрооборудования Mb и видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка “d”» для применения в шахтах, опасных по рудничному газу (метану):

АО «Логика»

Тип КСЛ.1М

N 272

Ex d I Mb

НАНИО ЦСВЭ N РОСС RU.ГВ05.В02524

Электрооборудование с уровнями взрывозащиты Gb и видами взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка “d”» и «повышенная защита вида “e”» для применения в помещениях и наружных установках с взрывоопасными средами, а именно с газом подгруппы IIB, температура самовоспламенения которого более 200 °C:

СмНПО
Тип 5 CD
N 5634
Ex d e IIB T3 Gb
НАНИО ЦСВЭ N РОСС RU.ГБ11.В00963

Электрооборудование с уровнем взрывозащиты Da и видом взрывозащиты «герметизация компаундом “ma”» для применения во взрывоопасных пылевых средах, содержащих проводящую пыль подгруппы IIIC, с максимальной температурой поверхности менее 120 °C:

ABC company
Тип RST
N 123456
Ex ma IIIC T120 °C Da
IP68
МОС Сертиум N РОСС RU.АЮ30.В00473

Электрооборудование с уровнем взрывозащиты электрооборудования Db и видом взрывозащиты «защита оболочкой “t”» для применения во взрывоопасных пылевых средах, содержащих проводящую пыль подгруппы IIIC, с максимальной температурой поверхности менее 320 °C при испытании с пылью, толщина слоя которой 500 мм:

ABC company
Тип RST
N 987654
Ex t IIIC T₅₀₀ 320 °C Db
IP65
ЦС СТВ РОСС.RU.ГБ04.А00273

Знание маркировки взрывозащищенного электрооборудования позволяет определить, правильно ли был осуществлен его выбор на стадии проектирования.

2.5. Старые виды маркировки взрывозащищенного электрооборудования

На разных этапах развития отечественной электротехнической промышленности взрывозащищенное электрооборудование маркировалось по-разному. Согласно ПИВЭ до 1970 года в маркировке указывались: вид взрывозащиты, категория (для электрооборудования, являющегося взрывозащищенным для взрывоопасных смесей всех категорий, вместо обозначения категории взрывоопасной смеси ставится *цифра 0*, что соответствует категории **II**) и группа взрывоопасной смеси, для которых данное электрооборудование безопасно. Например, **ВЗГ, В4А, Н0Б, М0Д** и др.

Согласно ПИВРЭ с 1970 до 1980 года в маркировке взрывозащищенного оборудования указывались: уровень и вид взрывозащиты, а также категория и группа взрывоопасной смеси, для которых данное электрооборудование безопасно. Например, **ВЗТ4** (М) (В), **В2Т3** (В), **Н2Т4** (Н) и др.

Согласно ГОСТ 12. 2.020-76 (на который ссылается ПУЭ) с 1980 года в маркировке взрывозащищенного электрооборудования указывается знак уровня взрывозащиты (2, 1, 0); знак соответствия ГОСТ (Ex); знак вида взрывозащиты (d, p, i, q, o, s, e); знак группы или подгруппы электрооборудования (II, IIA, IIB, IIC); знак температурного класса электрооборудования (T1, T2, T3, T4, T5, T6). Например, **2ExedIIBT3**, **1ExsdIIAT6**, **0ExidIIAT4** и др.

Даже сегодня в своей практической деятельности Вы обязательно столкнетесь с оборудованием, маркированным по ПИВЭ, а тем более по ПИВРЭ. И если это произойдет, нужно быть готовым оценить взрывобезопасность данного оборудования и правильность его применения в конкретном случае. Здесь могут оказаться полезными следующие нижеприведенные таблицы.

Таблица 2.11

Уровни взрывозащиты

Уровни взрывозащиты	Обозначение по	
	ПУЭ (ГОСТ 12.2.020-76)	ПИБРЭ
Электрооборудование повышенной надежности против взрыва	2	Н
Взрывобезопасное электрооборудование	1	В
Особовзрывобезопасное электрооборудование	0	О

Примечание: Электрооборудование, изготовленное по ПИБЭ, на уровни взрывозащиты не подразделяется. К уровню «электрооборудование повышенной надежности против взрыва» (**уровень 2**) относится электрооборудование, имеющее в маркировке по взрывозащите букву Н, а также цифру 2 перед буквой И, например: МНБ, Н0Г, Н2А, НПД, Н0А, $\frac{2И}{бензол}$, $\frac{2И0}{водород}$ и т. п. Электрообору-

дование с остальными маркировками по взрывозащите, выполненными по ПИБЭ, следует относить к уровню «взрывобезопасное электрооборудование» (**уровень 1**)

Таблица 2.12

Категории взрывоопасных смесей

Категория	Критический зазор, мм	Категория	Критический зазор, мм
по ПИБЭ и ПИБРЭ		по ПУЭ (ГОСТ 12.1.011-78)	
1	Более 1,00	I*	Свыше 1,00
2	От 0,65 до 1,00	IIА	>> 0,9
3	От 0,35 до 0,65	IIВ	>> 0,5 до 0,9
4	До 0,35	IIС	До 0,5

* – Категорией I обозначен рудничный метан

Таблица 2.13

Вид взрывозащиты

Вид взрывозащиты	Обозначение согласно		
	ПУЭ (ГОСТ 12.2.020-76)	ПИБРЭ	ПИБЭ
Взрывонепроницаемая оболочка	d	В	В
Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением защитным газом	p	П	П
Искробезопасная электрическая цепь	i	И	И
Кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями	q	К	–
Масляное заполнение оболочки с токоведущими частями	o	М	М
Автоматическое отключение от источника электроэнергии	–	А	–
Специальный вид взрывозащиты	s	С	С
Повышенная надежность против взрыва (защита вида е)	e	Н	Н

Таблица 2.14

Группы взрывоопасных смесей

Группа	Температура самовоспламенения, °С	Группа	Температура самовоспламенения, °С	Группа	Температура самовоспламенения, °С
По ПИБЭ		По ПИБРЭ		По ПУЭ (ГОСТ 12.1.011-78)	
А	Более 450	T1	Более 450	T1	Выше 450
Б	» 300 до 450	T2	» 300 до 450	T2	» 300 до 450
Г	» 175 до 300	T3	» 200 до 300	T3	» 200 до 300
Д	» 120 до 175	T4	» 135 до 200	T4	» 135 до 200
–	–	T5	» 100 до 135	T5	» 100 до 135
–	–	–	–	T6	» 85 до 100

Таблица 2.15

Взрывозащищенность электрооборудования

Категория взрывоопасной смеси по классификации ПИВРЭ и ПИВЭ	Категория взрывоопасной смеси по ПУЭ (ГОСТ 12.1.011-78), для которой электрооборудование является взрывозащищенным
1	IIA
2	IIA
3	IIA, IIB
4	IIA, IIB, IIC

Таблица 2.16

Взрывозащищенность электрооборудования

Группа взрывоопасной смеси в маркировке по взрывозащите электрооборудования, изготовленного по		Группа взрывоопасной смеси по ПУЭ (ГОСТ 12.1.011-78), для которой электрооборудование является взрывозащищенным
ПИВРЭ	ПИВЭ	
T1	A	T1
T2	B	T1, T2
T3	—	T1-T3
T4	Г	T1-T4
T5	Д	T1-T5

Используя вышеприведенные сведения и таблицы, а также таблицу П2.1 приложения 2 к Гл. 7.3 ПУЭ проследим соответствие трех видов маркировки друг другу на следующих примерах:

Пример 2.3.

$$\mathbf{M0D} \rightarrow \boxed{\mathbf{B4T5}} \textcircled{\mathbf{M}} \rightarrow \boxed{\mathbf{1ExoII T5}};$$

Пример 2.4.

$$\mathbf{H4B} \rightarrow \boxed{\mathbf{H4T2}} \textcircled{\mathbf{H}} \textcircled{\mathbf{B}} \rightarrow \boxed{\mathbf{2ExedIICT2}}.$$

Пользуясь таблицами классификации групп и категорий взрывоопасных смесей, уровня и вида взрывозащиты электрооборудования, приведем расшифровку нескольких маркировок электрооборудования.

0ExiIBT4 — взрывозащищенное электрооборудование, маркированное по ПУЭ, особовзрывобезопасное по уровню, в искробезопасном исполнении, годное для категорий взрывоопасной смеси IIA, IIB и групп взрывоопасной смеси T1-T4;

2ExeIIT2 — взрывозащищенное электрооборудование, маркированное по ПУЭ, повышенной надежности против взрыва по уровню, не имеющее нормально искрящих частей и с принятым рядом мер, дополнительно к используемым в электрооборудовании общего назначения, по исполнению, для категорий взрывоопасной смеси IIA, IIB, IIC и групп взрывоопасной смеси T1, T2;

04T5 **(И)** — взрывозащищенное электрооборудование, маркированное по ПИВРЭ, особовзрывобезопасное по уровню, искробезопасное по исполнению, рассчитанное на категории взрывоопасной смеси 1, 2, 3, 4 и группы T1, T2, T3, T4, T5;

B3T4 **(М)** **(В)** — взрывозащищенное электрооборудование, маркированное по ПИВРЭ, взрывобезопасное по уровню, взрывонепроницаемое, маслонаполненное по исполнению, для категорий взрывоопасных смесей 1, 2, 3 и групп T1, T2, T3, T4.

ИЗГ — взрывозащищенное электрооборудование, маркированное по ПИВЭ, по виду — искробезопасного исполнения, категория взрывоопасной смеси 1, 2, 3 и групп А, Б, Г.

2.6. Выбор электрооборудования по условиям пожаро- взрывобезопасности

Надежная и безопасная в пожарном отношении эксплуатация электрооборудования может быть обеспечена только в том случае, если его исполнение соответствует окружающей среде. Взрывозащищенное электрооборудование, выполненное для работы с взрывоопасными смесями горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом, сохраняет взрывозащиту, если находится в среде с взрывоопасной смесью тех категорий и групп, для которых выполнена его взрывозащита или находится в среде с взрывоопасной смесью менее опасной категории и группы. Если во взрывоопасной зоне применяют несколько веществ и любое способно создать взрывоопасную смесь, то выбор электрооборудования производят по наиболее опасному веществу.

При выборе электрооборудования для взрывоопасных зон необходимо:

а) на основе анализа физико-химических свойств веществ и материалов, применяемых в данных помещениях (наружных установках), свойств окружающей среды, характера технологического процесса определить класс пожаровзрывоопасной зоны и, в соответствии с табл. 7.3.10–7.3.12 ПУЭ, уровень взрывозащиты электрооборудования;

Основные сведения из таблиц 7.3.10–7.3.12 ПУЭ представлены в таблице 2.17.

В соответствии с ГОСТ Р 51330.0 – 99 электрооборудование повышенной надежности против взрыва может обеспечиваться:

- взрывозащитой вида “i” с уровнем искробезопасной электрической цепи “ic” и выше;
- взрывозащитой вида “p”, имеющей устройство сигнализации о недопустимом снижении давления;
- взрывозащитой вида “q”;
- защитой вида “e”;
- защитой вида “m”;
- взрывозащитой вида “d” для электрооборудования повышенной надежности против взрыва;
- масляным заполнением для электрооборудования группы II и заполнением негорючей жидкостью для электрооборудования группы I оболочек, удовлетворяющих требованиям взрывозащиты вида “o”;
- взрывозащитой вида “s”.

Взрывобезопасное электрооборудование может обеспечиваться:

- взрывозащитой вида “i” с уровнем искробезопасной электрической цепи не ниже “ib”;
- взрывозащитой вида “p”, с устройством сигнализации и автоматического отключения напряжения питания, кроме искробезопасных цепей уровня “ia”, при недопустимом снижении давления;
- взрывозащитой вида “d” для взрывобезопасного электрооборудования;
- специальным видом взрывозащиты “s”;
- защитой вида “e”, заключенной во взрывонепроницаемую оболочку;
- заключением в оболочку, предусмотренную для защиты “p” с устройством сигнализации о снижении давления ниже допустимого значения, электрооборудования группы II с защитой вида “e”.

Особовзрывобезопасное электрооборудование может обеспечиваться:

- взрывозащитой вида “i” с уровнем искробезопасной электрической цепи не ниже “ia”;
- специальным видом взрывозащиты “s”;
- взрывобезопасным электрооборудованием с дополнительными средствами взрывозащиты (например, заключением искроопасных частей, залитых компаундом или погруженных в жидкий или сыпучий диэлектрик, во взрывонепроницаемую оболочку, или продуванием взрывонепроницаемой оболочки чистым воздухом под избыточным давлением при наличии устройств контроля давления, сигнализации и автоматического отключения напряжения при недопустимом снижении давления или при повреждении взрывонепроницаемой оболочки). При этом для отходящих соединений должен обеспечиваться уровень искробезопасных цепей “ia”.

б) во взрывоопасных зонах определить *категорию и группу* взрывоопасных смесей, *группу и температурный класс* электрооборудования;

в) по каталогам (справочникам) выбрать конкретный *тип (марку)* электрооборудования.

Проиллюстрируем вышесказанное следующим примером.

Пример 2.5. Дать заключение о соответствии классу и среде взрывоопасной зоны насосной бензина А-76. Определить уровень взрывозащиты, группу и температурный класс электрооборудования зоны. Технологический процесс не предусматривает хранения и переливания бензина, находящегося в открытых емкостях, и протекает при соответствующей герметизации оборудования.

Решение:

1. Определяем класс взрывоопасной зоны по ПУЭ и «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности»:

1.) Насосная перекачивает легковоспламеняющуюся жидкость бензин с $t_{всп} = -11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно п. 7.3.11 ПУЭ она относится к взрывоопасным зонам.

2.) Технологический процесс протекает без хранения и переливания бензина, находящегося в открытых емкостях, а оборудование герметично. Согласно п. 7.3.41 ПУЭ насосная относится к взрывоопасным зонам класса **В-Ia**, что соответствует **2-му классу** взрывоопасных зон согласно статье 19 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности».

Таблица 2.17

Взаимосвязь уровней взрывозащиты или степени защиты электрооборудования и взрывоопасных зон

Электрооборудование	Допустимые уровни взрывозащиты или степень защиты электрооборудования для взрывоопасных зон класса					
	В-I	В-Ia	В-Iб	В-Iг	В-II	В-IIa
Электрические машины (стационарные и передвижные)	1	2	Без средств взрывозащиты, оболочка IP44	2	1 (см. п. 7.3.63 ПУЭ)	Без средств взрывозащиты (см. п. 7.3.63 ПУЭ). Оболочка IP54*
Электрические аппараты и приборы стационарные: искрящие или подверженные нагреву выше 80 °С	0, 1	2	Без средств взрывозащиты, оболочка IP44	2	0, 1 (см. п. 7.3.63 ПУЭ)	Без средств взрывозащиты (см. п. 7.3.63 ПУЭ). Оболочка IP54
не искрящие и не подверженные нагреву выше 80 °С	1	Без средств взрывозащиты, оболочка IP54		Без средств взрывозащиты, оболочка IP54		
Электрические аппараты и приборы, передвижные или являющиеся частью передвижных установок и ручные переносные	0, 1	0, 1	2	2	0, 1 (см. п. 7.3.63 ПУЭ)	Без средств взрывозащиты (см. п. 7.3.63 ПУЭ). Оболочка IP54
Светильники стационарные	1	2	Без средств взрывозащиты, оболочка IP53	2	2 (см. п. 7.3.63 ПУЭ)	Без средств взрывозащиты (см. п. 7.3.63 ПУЭ). Оболочка IP53

Таблица 2.17. Окончание

Электрооборудование	Допустимые уровни взрывозащиты или степень защиты электрооборудования для взрывоопасных зон класса					
	B-I	B-Ia	B-Iб	B-Iг	B-II	B-IIa
Электрические светильники переносные	1	1	2	2	1 (см. п. 7.3.63 ПУЭ)	2 (см. п. 7.3.63 ПУЭ)

* До освоения электропромышленностью машин со степенью защиты оболочки IP54 разрешается применять машины со степенью защиты оболочки IP44

3.) В соответствии с табл. 7.3.10–7.3.12 ПУЭ уровень взрывозащиты для: а) электрических машин (стационарных и передвижных) — *повышенной надежности против взрыва*; б) электрических аппаратов и приборов стационарных, искрящих или подверженных нагреву выше 80 °С, — *повышенной надежности против взрыва*; в) электрических аппаратов и приборов стационарных, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С, — без средств взрывозащиты, оболочка IP54; г) электрических аппаратов и приборов передвижных или являющихся частью передвижных установок и ручных переносных — *особовзрывобезопасный, взрывобезопасный*; д) светильников стационарных — *повышенной надежности против взрыва*; е) электрических светильников переносных — *взрывобезопасный*.

II. Определяем категорию и группу взрывоопасной смеси бензина А-76 с воздухом по ПУЭ.

Согласно таблице 7.3.3 ПУЭ взрывоопасная смесь бензина А-76 относится к категории **IIA**, группа **T3**. Таким образом, группа электрооборудования **II**, подгруппа **IIA**, температурный класс **T3**.

При проведении пожарно-технической экспертизы электротехнической части проекта (объекта) конкретный тип (марка) электрооборудования, как правило, уже выбраны и следует только сделать вывод о соответствии электрооборудования требованиям ПУЭ и «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности».

В качестве иллюстрации рассмотрим пример экспертизы электротехнической части проекта.

Пример 2.6. В помещении насосной по перекачке бензина Б-70 установлены:

1. Электрические аппараты

1.1. электрические распределительные щиты:

а) силовые **СПУ62** (силовые пульта управления), с маркировкой **IP44** (закрытые с уплотнениями, $U < 500\text{В}$);

б) осветительные **ЩОВ-1**, с маркировкой **1ExdIIAT2** (щит осветительный взрывонепроницаемый, на 6 однофазных и 2 трехфазные группы, может работать в производственных взрывоопасных помещениях с зонами классов В-Ia, В-Iб, В-II, В-IIa (для сред до ЗТЗ) и наружных установках В-Iг (с защитой от атмосферных осадков), на отходящих линиях стоит защитный аппарат АЗ161 (220В, 15А) и АЗ163 (380В, 50А)).

1.2. электрические аппараты:

а) магнитные пускатели серии **ПА-332** с маркировкой **IP 54** (предназначены для дистанционного пуска и остановки асинхронных двигателей с коротко замкнутым ротором $P < 75\text{кВт}$);

б) кнопки управления **КУ-700** с маркировкой **М0Д** (взрывозащищенные, используются для дистанционного управления электродвигателями во взрывоопасных зонах);

2. Электрические машины — асинхронный электродвигатель серии **ВАО** с маркировкой **ВЗТ4 В** (взрывонепроницаемый, асинхронный, обдуваемый, с коротко замкнутым ротором, может работать во взрывоопасных зонах и наружных взрывоопасных установках всех классов, с взрывоопасными средами 1–4 категорий, групп Т1–Т5, $P = 50\text{ кВт}$, $U = 380\text{ В}$);

3. Светильники — типа ВЗГ и В4А (взрывобезопасные, взрывонепроницаемого исполнения).

Дать заключение о соответствии эксплуатируемого электрооборудования требованиям пожарной безопасности.

Решение:

I. Определение класса взрывоопасной зоны по ПУЭ и «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности»:

1) По условиям технологии применяется **бензин Б-70** (смесь легких углеводородов, бесцветный с температурой вспышки $t_{\text{всп.}} = -34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температурой самовоспламенения $t_{\text{сам.}} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$). Температура вспышки бензина Б-70 меньше $61\text{ }^{\circ}\text{C}$, и поэтому согласно

п. 7.3.11 ПУЭ он относится к взрывоопасным ЛВЖ. Следовательно, помещение насосной относится к взрывоопасным зонам.

2) В помещении насосной аппараты герметичны, и взрывоопасная концентрация паров бензина может образоваться только в результате аварии, поэтому согласно п. 7.3.41. ПУЭ помещение насосной относится к взрывоопасным зонам класса **В-Ia**, что соответствует **2-му классу** взрывоопасных зон согласно статье 19 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности».

II. Определение категории и группы взрывоопасной смеси бензина с воздухом по ПУЭ.

Согласно таблице 7.3.3 ПУЭ взрывоопасная смесь паров бензина Б-70 относится к категории **IIA** ($B_{ЭМЗ} > 0,9$ мм), группе **T3** ($200^{\circ}\text{C} < t_{\text{сам.}} \leq 300^{\circ}\text{C}$).

III. Определение соответствия эксплуатируемого электрооборудования требованиям ПУЭ и «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности».

Определение степени соответствия эксплуатируемого электрооборудования требованиям пожарной безопасности сведено в таблицу 2.18.

Таблица 2.18

Степень соответствия эксплуатируемого оборудования требованиям пожарной безопасности

Установленное электрооборудование	Требуемое по нормам ПУЭ	Вывод о соответствии
1. Электрические аппараты (электрические распределительные щиты): а) силовые СПУ62 с маркировкой IP44;	Согласно п. 7.3.78 и табл. 7.3.11 ПУЭ, установка данного электрооборудования запрещена. Следует заменить на электрооборудование повышенной надежности против взрыва;	Не соответствует уровню взрывозащиты
б) осветительные ПЦОВ-1 с маркировкой 1ExdIIAT2	Согласно п. 7 статьи 23 «Технического регламента» установка данного электрооборудования запрещена. Следует заменить на электрооборудование с температурным классом T3	Не соответствует температурному классу

Таблица 2.18. Окончание

Установленное электрооборудование	Требуемое по нормам ПУЭ	Вывод о соответствии
2. Электрические аппараты: – магнитные пускатели ПА-322 с маркировкой IP54; – кнопки управления КУ-700 с маркировкой M0Д; M0Д → 1ExoIIТ5	Согласно п. 1 статьи 23 «Технического регламента» установка данного электрооборудования запрещена. Следует заменить на электрооборудование по уровню — повышенной надежности против взрыва для категории ПА и температурного класса ТЗ; 2ExeIIATЗ — повышенной надежности против взрыва по уровню, не имеющие нормально искрящих частей и с дополнительным рядом мер по исполнению, для категорий взрывоопасной смеси ПА и группы взрывоопасной смеси ТЗ	Не соответствует взрывозащищенному электрооборудованию (электрооборудованию для взрывоопасных зон) Соответствует
3. Электрические машины: – асинхронный электродвигатель серии ВАО с маркировкой ВЗТ4 В; ВЗТ4 В → 1ExdIIBT4	2ExeIIATЗ — повышенной надежности против взрыва по уровню, не имеющих нормально искрящих частей и с дополнительным рядом мер по исполнению, для категорий взрывоопасной смеси ПА и группы взрывоопасной смеси ТЗ	Соответствует
4. Электрические светильники: – типа ВЗГ; ВЗГ → 1ExdIIBT4 – типа В4А; – В4А → 1ExdIICT1	2ExeIIATЗ – повышенной надежности против взрыва по уровню, не имеющие нормально искрящих частей и с дополнительным рядом мер по исполнению, для категорий взрывоопасной смеси ПА и группы взрывоопасной смеси ТЗ	Соответствует Не соответствует температурному классу

2.7. Электромонтажные и пусконаладочные работы

Электромонтажные работы выполняются в *два этапа*.

На *первом этапе* осуществляется инженерная подготовка монтажа. На строительной площадке проверяют проходы и технологические каналы, необходимые для установки оборудования, и установку закладных деталей.

На *втором этапе*, после полного окончания строительных, отделочных и специальных работ в электропомещениях, в том числе после завершения монтажа внутренних электрических сетей и коммутационной аппаратуры, осуществляется установка и сборка электрооборудования.

Электропомещения — помещения или отгороженные (например, сетками) части помещения, в которых расположено электрооборудование, доступное только для квалифицированного обслуживающего персонала.

Производство монтажа осуществляется специализированными организациями по производству электромонтажных работ. Производство монтажа взрывозащищенного электрооборудования должно обеспечивать надлежащее качество и правильность выполнения вводов проводов и кабелей к электроустановкам.

Второй этап заканчивается *пусконаладочными работами*. Пусконаладочные работы осуществляются специализированными организациями наладки сложного оборудования.

Пусконаладочные работы выполняются в следующем порядке:

а) работы без подачи напряжения, в процессе которых производится осмотр оборудования, выявляются и устраняются недостатки, измеряется сопротивление изоляции, осуществляются проверка пускорегулирующей аппаратуры и фазировка линий;

б) работы с подачей напряжения в оперативные цепи управления для проверки действия всех элементов цепей при нормированных отклонениях напряжения с *регистрацией* выявленных неисправностей;

в) работы с подачей напряжения на силовые цепи, с одновременной подачей напряжения в оперативные цепи управления, для проверки их работы в различных режимах. На данном этапе оборудование передается персоналу, который будет осуществлять эксплуатацию электрооборудования;

г) комплексные испытания и режимная наладка, осуществляемые эксплуатационным персоналом под наблюдением наладчиков, которые также участвуют в настройке электрооборудования на заданные режимы работы.

При положительных результатах работы электрооборудования под нагрузкой и правильной работе защит составляют акт о приеме электрооборудования в эксплуатацию. Прием в эксплуатацию взрывозащищенного электрооборудования осуществляет *специальная комиссия*.

2.8. Упражнения

2.1. Расшифруйте маркировку пожарозащищенного электрооборудования: IP45.

2.2. Расшифруйте маркировки пожарозащищенного электрооборудования: IP26, IP32, IP54, IP23.

2.3. Расшифруйте обозначение 1ExeIIТЗ.

2.4. Расшифруйте обозначения: 2ExeIICT2, 0ExiIIBT4, 1ExqIIТ6.

2.5. Выполните перевод маркировки по ПИВРЭ в маркировку по ПУЭ:

$$\boxed{\text{ВЗТ4}} \textcircled{\text{М}} \textcircled{\text{В}} \textcircled{\text{С}} \rightarrow ?$$

2.6. Выполните перевод маркировок по ПИВРЭ в маркировки по ПУЭ:

$$\boxed{\text{В4Т1}} \textcircled{\text{В}} \rightarrow ?$$

$$\boxed{\text{Н2Т2}} \textcircled{\text{Н}} \rightarrow ?$$

2.7. Выполните перевод маркировки по ПИВЭ в маркировку по ПУЭ:

$$\text{И4Г} \rightarrow ?$$

2.8. Выполните перевод маркировок по ПИВЭ в маркировки по ПУЭ:

М0Б → ?

ПОГ → ?

2.9. В помещении «(наименование помещения – см. таблицу 2.19)» установлены: электродвигатели, магнитные пускатели, пусковые кнопки, светильники, распределительные щиты, марка и исполнение которых приведены в таблице 2.20.

а) Определить и обосновать по «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» и ПЭУ класс зоны. При необходимости определить категорию и группу взрывоопасной смеси.

б) Расшифровать маркировку электрооборудования согласно соответствующим нормативным документам.

в) Проверить соответствие установленного оборудования требованиям «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» и ПУЭ.

Таблица 2.19

Наименование помещений

	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
Наименование помещения	Насосная по перекачке трансформаторного масла (ГЖ, $t_{всн} = 135 - 140^{\circ}\text{C}$)	Склад баллонов с ацетиленом (ГГ, <i>взрывоопасен</i>)	Сливоналивная эстакада мазута (ГЖ, $t_{всн} = 85^{\circ}\text{C}$)	Цех приготовления резинового клея (бензин «Галоша») (ЛВЖ, $t_{всн} = -17^{\circ}\text{C}$)	Склад готовой продукции швейной фабрики (Твердое горючее вещество)
	Номер варианта				
	6	7	8	9	10
Наименование помещения	Аммиачная компрессорная (Горючий бесцветный газ с характерным резким запахом)	Хлопкоразрывательный цех (НКПВ= 44 – 90 г/м ³) (Горючее волокнистое легко воспламеняемое вещество)	Галерея топливopодачи торфа (НКПВ= 18 г/м ³) (Горючее вещество)	Цех порошковой окраски (НКПВ= 16,9 г/м ³) (Горючий порошок)	Размольное отделение мельницы (НКПВ= 60 г/м ³) (Горючий порошок)

Таблица 2.20

Установленное электрооборудование

Номер варианта	Двигатель и его маркировка	Магнитный пускатель и его маркировка	Пусковая кнопка и ее маркировка	Светильник и его маркировка	Распределительный щит и его маркировка
1	В ВЗТ4-В	ПМ-700 М0Д	КУ-123 IP-20	ВЗГ-200	ПР-9000 IP-44
2	АО-8 IP-44	ПМЕ-232 IP-54	КУ-701 В4Т4-В	НОП-20 IP-54	ЩОВ-2 ВЗТЗ-В
3	4А IP-54	ПАЕ-442 В2Т1-В	КУВ-2 ВЗТ5-М	Н4Б-200	ЩОАУ-6 IP-44
4	4А IP-34	ПМ-513 IP-20	КУ-121 IP-54	НСП-10 IP-44	ОЩ-6 IP-21
5	ВАО 1ExdIIbT4	ПА-422 1ExpIIaT2	КУВ-00 М0Д	В4А-200	ЩОВ-1 ВЗТЗ-В
6	В ВЗТ4-В	ПОМ-714 1ExeIIТ6	КУВ-2 1ExeIIbT4	ПВЛМ IP-24	СП-62 IP-30
7	ВР 1ExdIIТ1	ПАЕ-424 IP-64	КУ-250 IP-64	В4А-200	ОПМУ-61 IP-44
8	КОМ В2А	ПМ-700 М0Д	КУ ВЗГ	КО-04 IP-30	Я-3100 IP-53
9	А IP-20	ПМ-200 М0Д	КУ-123 IP-54	Астра-5 IP-54	ПД IP-00
10	В 1ExdIIaT2	ПМЕ-222 IP-30	КУВ-1 1ExdIIcT5	Н0Г	ЩД IP-30

2.9. Вопросы для повторения

1. Что понимают под электрооборудованием?
2. Как классифицируют электрооборудование по исполнению?
3. Какими латинскими буквами обозначаются: конструктивное исполнение электрооборудования; способ охлаждения электрооборудования; степени защиты электрооборудования?
4. Что понимают под взрывозащищенным электрооборудованием?
5. По каким признакам классифицируется взрывозащищенное электрооборудование?

6. Что понимают под уровнем взрывозащиты электрооборудования?

7. На какие виды по уровням взрывозащиты подразделяется взрывозащищенное электрооборудование?

8. Что такое вид взрывозащиты электрооборудования?

9. Как подразделяется взрывозащищенное электрооборудование по видам взрывозащиты?

10. На какие группы по допустимости применения в зонах подразделяется взрывозащищенное электрооборудование?

11. На сколько подгрупп подразделяется взрывозащищенное электрооборудование группы II?

12. Что называют предельной температурой поверхности взрывозащищенного электрооборудования?

13. На сколько температурных классов подразделяется взрывозащищенное электрооборудование группы II?

14. Где находятся условные обозначения взрывозащиты электрооборудования?

15. Зачем нужно знать маркировку взрывозащищенного электрооборудования?

16. За сколько этапов выполняются монтажные работы?

17. Что должно обеспечивать производство монтажа взрывозащищенного электрооборудования?

18. Что называют электропомещением?

19. В каком порядке выполняются пусконаладочные работы?

20. Какой документ составляется при положительных результатах работы электрооборудования?

20. Кто осуществляет прием в эксплуатацию взрывозащищенного электрооборудования?

21. Что является основным достоверным способом доказательства соответствия продукции заданным требованиям?

22. Что понимают под испытанием?

23. Результаты проделанных кем испытаний считаются наиболее достоверными в оценке соответствия?

24. Что должно указываться в сертификате соответствия на Ex – оборудование?

Глава 3

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

3.1. Электрические сети промышленных объектов, жилых и общественных зданий

Электрические сети служат для передачи и распределения электрической энергии от места ее получения к местам потребления.

Электрические сети различаются по: *роду тока* — сети постоянного и переменного токов; *назначению* — силовые, осветительные и совмещенные; *величине напряжения* — до 1000 В и выше 1000 В; *месту расположения* — наружные (т. е. сооружаемые вне помещений), выполняемые воздушными или кабельными линиями, и внутренние (т. е. сооружаемые внутри помещений), выполняемые изолированными проводами и кабелями, а в производственных помещениях — иногда голыми проводами и шинами.

Как уже отмечалось выше, для передачи и использования электроэнергии строят сети двух напряжений. По линиям высокого напряжения энергия передается на значительные расстояния, а сети низкого напряжения распределяют электроэнергию непосредственно к потребителям. В нужных точках сети высокого напряжения сооружают трансформаторные подстанции с установкой на них понижающих трансформаторов. К сети низкого напряжения присоединяют приемники электроэнергии. Сети, к которым в любой точке могут быть присоединены трансформаторы, а от них — и потребители, называются *распределительными сетями*. Они могут быть высокого и низкого напряжений.

В распределительных сетях постоянного тока приняты номинальные стандартные напряжения 110, 220, 400 В. В сетях переменного трехфазного тока с частотой 50 Гц стандартными напряжениями являются 127, 220, 380 В. В отдельных случаях, например, для питания крупных асинхронных и синхронных двигателей, применяется напряжение 3, 6, и 10 кВ.

Если сети предназначены только для передачи энергии от источника питания до распределительных пунктов, то такие сети называются *питательными*. Потребители к ним не присоединяются.

Электрические сети должны обеспечивать: надежность электроснабжения; обеспечение необходимой величины напряжения у потребителей; пожарную безопасность; экономичность и возможность дальнейшего развития; удобство и безопасность обслуживания.

Источниками питания промышленных предприятий, как правило, являются сети энергосистем. Способы и схемы организации электроснабжения предприятий зависят от требований надежности их электроснабжения.

В части обеспечения надежности электроснабжения, как уже отмечалось ранее, все потребители электрической энергии согласно ПУЭ делятся на три категории.

I категория — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

II категория — электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

III категория — все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от *двух* независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

Величина установленной и единовременной мощности потребителя и категория надежности электроснабжения определяется техническими условиями и разрешениями на присоединение к электрическим сетям энергосистемы. Установка резервных автономных источников электроснабжения техническими условиями и разрешениями не регламентируется и выполняется по проекту.

Схемы электроснабжения потребителей внутри промышленных, общественных и жилых зданий определяются технологией производства, мощностью потребителей, назначением, их расположением на объекте и т. п. Наиболее часто встречаются магистральная, радиальная и смешанная схемы распределительных сетей.

Наиболее часто встречается схема радиального питания потребителей, показанная на рис. 3.1.

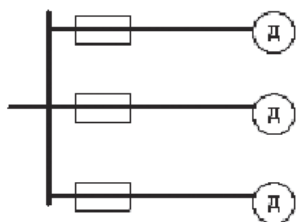


Рис. 3.1. Схема радиального питания электропотребителей

Радиальная схема используется в тех случаях, когда требуется обеспечить питание группы электропотребителей, сосредоточенных

в одном месте. Радиальные схемы обеспечивают повышенную надежность, удобство операций по включению и отключению электропотребителей, предотвращают влияние повреждений в одном потребителе или питающей его линии на электроснабжение другого.

Схема магистрального питания, показанная на рис. 3.2, применяется при сравнительно одинаковой мощности потребителей. Эти схемы дешевле радиальных, но менее надежны, так как при повреждении на магистрали отключаются все питающиеся от нее электропотребители.

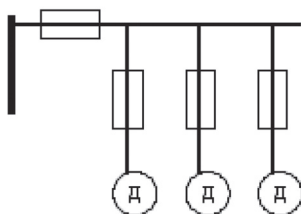


Рис. 3.2. Схема магистрального питания электропотребителей

На рис. 3.3 приводится пример схемы общего электроснабжения жилых и общественных зданий, представляющей собой смешанную распределительную сеть, содержащую как радиальное, так и магистральное питание.

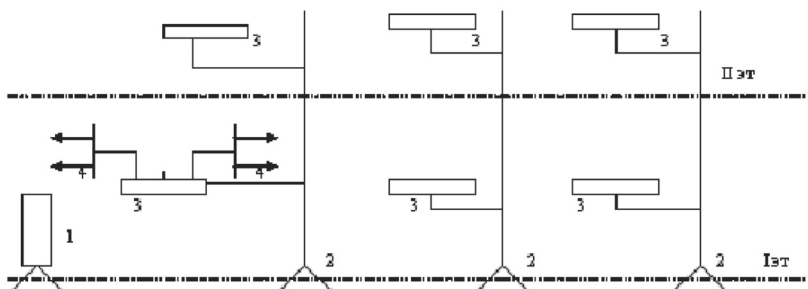


Рис. 3.3. Пример схемы общего электроснабжения здания:
1 — шкаф ввода; 2 — лестничный стояк; 3 — этажный щиток;
4 — квартирный щиток

3.2. Провода и кабели

Монтаж электрических сетей выполняется различными проводами и кабелями.

Провод — одна или несколько изолированных токопроводящих жил, поверх которых могут быть наложены защитные покровы.

Кабель — одна или несколько изолированных жил, заключенных в защитную герметическую оболочку.

Совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и установленными деталями, называется *электропроводкой*.

Жилой называется токоведущая часть провода. Жилы делают из меди, алюминия или стали. Жила может быть однопроволочной и многопроволочной.

Провод с особо гибкими скрученными или уложенными параллельно и заключенными в легкие защитные оболочки изолированными жилами сечением не более $1,5 \text{ мм}^2$ каждая называется *шнуром*.

Жилы проводов имеют стандартные сечения, в мм^2 : 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400.

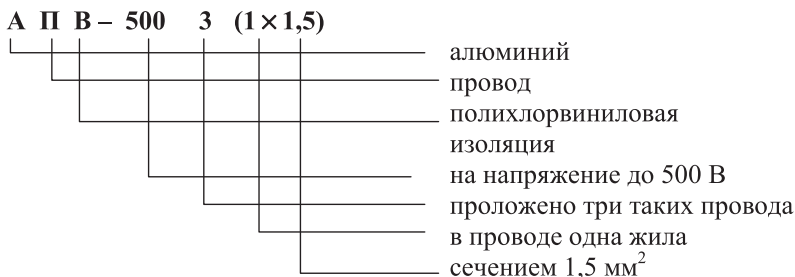
Жилы покрыты изолирующей оболочкой из резины, полихлорвинила, найрита (резина на основе синтетического каучука; найрит маслостоек, бензиностоек, светостоек) и т. д. Изолирующая оболочка у многих проводов защищена от внешних механических воздействий хлопчатобумажной оплеткой. Провода и шнуры маркируют в зависимости от материала жил и изолирующих оболочек.

Марку записывают в виде сочетания букв, например: **АПН**, **ПРТО**, **ПГВ**. Первая буква указывает на название изделия: **П** — провод; **Ш** — шнур. Вторая буква обозначает материал изоляции жил: **Р** — изоляция резиновая; **В** — изоляция полихлорвиниловая; **Н** — изоляция найритовая. Третья буква указывает на наличие и материал защитной оболочки или оплетки: **О** — в общей оплетке; **П** — панцирная оплетка из тонких оцинкованных проволок; **Ф** — металлическая фальцованная оболочка; **С** — для скрытой прокладки; **Т** — провод нужно прокладывать в трубах.

Конструкция провода отражается буквой, размещаемой впереди обозначения: **П** — провод плоский (ленточный); **Т** — провод трубчатый, либо его жилы оплетены вокруг троса.

В проводах и шнурах с медными жилами материал жил в буквенном обозначении не отражается. В проводах с алюминиевыми жилами материал жилы отражается буквой **А** впереди буквенного обозначения. Буква **Г**, размещаемая, как правило, в конце обозначения, указывает, что провод имеет гибкую жилу.

Монтаж электрических сетей осуществляется проводом, указанным в проекте. Кроме марки провода в проекте могут быть указаны максимальное напряжение, на которое рассчитана изоляция, количество жил и их сечение, а также количество таких проводов, проложенных в данном месте. Максимальное напряжение, на которое рассчитана изоляция, записывают через черточку, а число жил и их сечение записывают через знак умножения. Ниже приведен пример такой записи.



Далее приведено еще два примера обозначения провода в проектной документации.

Пример 3.1. АППВС – 500 (2 × 1,5)

– провод с двумя алюминиевыми жилами, плоский с полихлорвиниловой изоляцией для скрытой прокладки, изоляция рассчитана на напряжение до 500 В, сечение жилы 1,5 мм².

Пример 3.2. ПР – 1 × 4

– провод с одной медной жилой, круглый, с резиновой изоляцией, сечение жилы 4 мм².

Провода марок ПР, ПРД, АПР, ПРГ, ШР или плоские провода АППВ, ППВ прокладывают открыто по поверхности стен, потолков и других конструктивных частей.

Для прокладки скрытой проводки в резиновых (полутвердых) трубах используют провода АПР, АПВ, ПР, ПВ или без трубок проводами АППВС, АПН.

Для прокладки в стальных трубах используют провода АПР, АПВ, АПРТО, ПР, ПВ, ПРТО.

Для прокладки в коробах используют провода АПР, АПВ, АПРТО или провода с теплостойкой изоляцией РКГМ, ПРКС.

Для прокладки на роликах и изоляторах используют провода АПР, АПВ, ПР, ПВ.

Тросовые провода АРТ, АВТ-1, АВТ-2 используют для тросовой прокладки; для прокладки на струне используют провод АТПРФ.

Шнуры ШПРО, ШПВЛ используют для подключения переносных электроприемников, например, применяемых в быту.

Среди силовых кабелей наиболее распространены трех- и четырехжильные силовые кабели.

В качестве изоляции жил кабеля используются резина, полихлорвинил, пропитанная бумага, полиэтилен. Защитная оболочка служит для защиты изоляции жил кабеля от действия света, влаги, химически агрессивных сред и выполняется из свинца, алюминия, полихлорвинила, полиэтилена, резины, найрита. Поверх защитной оболочки для защиты от механических повреждений изоляции применяется бронепокров из стальных лент, плоской или круглой стальной проволоки. Броня кабеля защищается наружным джутовым покровом. На рис. 3.4 показан разрез четырехжильного кабеля с секторными жилами на напряжение 6 кВ.

Марку кабеля записывают в виде буквенных символов, например: **АВРГ**; **АВВГ**; **АНРГ**.

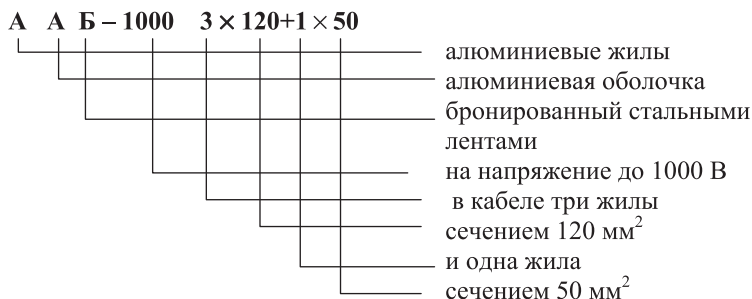
Обозначение силовых кабелей состоит из нескольких букв. *Первая буква* обозначает материал жилы кабеля **А** — алюминиевые, если **буквы нет** — жилы из меди. *Вторая буква* обозначает материал изоляции жил: **Р** — резина, **В** — поливинилхлорид, **П** — полиэтилен, **символа нет** — бумага. *Третья буква* обозначает материал оболочки: **А** — алюминий; **С** — свинец, **В** и **ВР** — поливинилхлорид, **Н** и **НР** — негорючая резина-найрит, **СТ** — гофрированная сталь. *Четвертая буква* обозначает защитное покрытие: **А** — асфальтированный джут, **Б** — бронированный стальными лентами, **П** — бронированный плоской стальной оцинкованной проволокой, **К** — бронированный круглой стальной оцинкованной проволокой, **Г** — голый (без джутовой

оплетки). Буква **Н** в конце обозначения говорит о том, что защитный покров негорючий, **Т** — указывает на то, что кабель нужно прокладывать в трубах, **Шв** или **Шп** означают, что оболочка кабеля заключена в поливинилхлоридный или полиэтиленовый шланг. Буква **Ц** в начале названия говорит о том, что бумажная изоляция пропитана массой на основе церезина, буква **О** — об отдельно оцинкованных жилах.



Рис. 3.4. Четырехжильный кабель в разрезе

В проектной документации кабель описывают аналогично описанию провода — так, как это показано ниже.



Далее приведено еще два примера маркировки кабелей.

Пример 3.3. **СПГ – 4 × 10**

– кабель с четырьмя медными жилами, резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке, голый, сечение жилы 10 мм².

Пример 3.4. АСРБ – 3 × 16

– кабель с тремя алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный стальными лентами, с наружным джутовым покровом, сечение жилы 16 мм².

3.3. Обеспечение пожарной безопасности электрических сетей на этапах проектирования, монтажа и эксплуатации

При проектировании электрических сетей, одновременно с выбором минимально допустимого сечения проводников на допустимый ток по условиям нагревания проводников, рассчитывают электрические сети и на допустимую потерю напряжения.

Из двух сечений, определенных указанными расчетами, принимается большее. Принятое сечение должно быть не меньше сечения, регламентированного условиями механической прочности для данных условий прокладки. *Без этого не может быть гарантирована не только пожарная безопасность, но и электробезопасность электрических сетей, осветительной или силовой установки в целом!*

При проектировании, кроме того, выбирают номинальные параметры аппаратов защиты. При выборе аппаратов защиты следует учитывать, что пусковой ток электропотребителей, как правило, в несколько раз превышает их рабочий ток. Так, например, для осветительных сетей пусковой ток превышает рабочий ток в 2,5 раза, а для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором превышает их номинальный ток — в 4–8 раз. Аппараты защиты должны быть выбраны таким образом, чтобы исключить ложное срабатывание в моменты пуска электрооборудования при сохранении его надежной защиты при возникновении аварийного режима работы.

Электрические сети могут быть причиной аварий, несчастных случаев и пожаров, если в процессе их монтажа не выполняются необходимые технические условия. Требования к электромонтажным работам определяются действующими ПУЭ, инструкциями по монтажу и техническими условиями на приемку электромонтажных работ. В основе указанных требований лежит строгое соблюдение соответствия проекту монтируемых проводов, кабелей, сечений токопроводящих жил и видов электропроводок. Особенно это важно

при монтаже электрических сетей взрывоопасных зон: *совершенно недопустимо производить самостоятельно (или с согласия заказчика) какую-либо замену конструкций сети; любая замена должна обязательно согласовываться с проектной организацией!*

Электропроводка во взрывоопасных зонах должна монтироваться особенно тщательно и надежно, чтобы способствовать предотвращению взрыва или локализации его.

Провода и кабели следует использовать по основному назначению. Марки проводов и способы их прокладки должны соответствовать характеристике среды, классу зон.

Провода и кабели с алюминиевыми жилами разрешается применять во всех случаях, за исключением: а) сетей во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Iа; сетей в пожароопасных зонах всех классов, выполненных незащищенными проводами с горючей изоляцией, вне коробов и труб; б) осветительных проводок зрелищных предприятий: на сцене, арене, эстраде, в киноаппаратной, светопроекционной, помещениях управления, аппаратных регулирования, стационарной аккумуляторной, на чердаках, в зрительных залах; в) ответвлений к вводам в здания от наружных проводок, выполненных медными проводами.

В музеях, картинных галереях, библиотеках, архивах и других хранилищах федерального значения следует применять провода и кабели только с медными жилами.

Кабели, прокладываемые внутри помещений и в специальных кабельных сооружениях (туннелях), не должны иметь внешних защитных покровов из горючих веществ.

Применение проводов и кабелей с полиэтиленовой изоляцией или оболочкой запрещается в пожаро- и взрывоопасных зонах всех классов!

Соединение и оконцевание кабелей должно производиться с помощью соединительных муфт и концевых заделок, заливаемых изолирующим компаундом.

Соединение и оконцевание проводов выполняют опрессовкой с применением гильз, скруткой (при сечении жил до 10 мм²), пайкой и т. д.

Проходы проводов через стены и перегородки следует выполнять в неразрезанных изоляционных полутвердых или подобных трубках. Эти трубки должны быть оконцованы в сухих помещениях изолирующими втулками, а в сырых и при выходе наружу — воронками.

Проходы проводов через междуэтажные перекрытия выполняются открыто в стальных трубах и скрыто в изоляционных трубах в стене под штукатуркой, а также через специально предусмотренные проемы.

Выбор вида электропроводки, проводов и кабелей, а также допустимые способы их прокладки регламентируются ПУЭ, Глава 2.1 и Главы 7.3 и 7.4.

Противопожарные мероприятия при эксплуатации электрических проводок направлены на исключение пожароопасных явлений и их последствий. Проводки необходимо содержать в таком состоянии, которое исключало бы возможность возникновения пожара и его распространения на близрасположенные горючие материалы. В целях содержания сетей в исправном состоянии следует проводить основные противопожарные мероприятия: а) не допускать длительных перегрузок; б) проверять соответствие сечения жил проводов (кабелей) токовой нагрузке, наличие и исправность аппаратов защиты сетей и их соответствие сечению жил проводников; в) периодически проверять целостность и исправность изоляции и ее сопротивление; г) вести наблюдение за тем, чтобы не было провисания проводов, отрыва их от точек крепления, соприкосновения с конструкциями и оборудованием; д) в случае изменения технологии производства проверять соответствие проложенных ранее проводов характеру и пожарной опасности вновь размещенного технологического процесса и оборудования; е) проверять исправность изоляции и защиты мест соединения и ответвления проводов, а также подключения проводов к приборам, машинам и арматуре; ж) следить за тем, чтобы при эксплуатации не было нарушений и отклонений от данных проекта; з) не пользоваться открытым огнем в кабельных колодцах.

3.4. Методика выбора электропроводок по условиям пожарной безопасности

По способу выполнения электропроводки делят на открытые и скрытые. К *открытым* относят проводки, прокладываемые по стенам, потолкам, фермам на роликах, изоляторах, на тросах, в трубах (резиновых, резино-битумных, полиэтиленовых, винипластовых,

бумажно-металлических, стальных). *Скрытые* проводки прокладывают в стенах, перекрытиях и полах в трубах (изоляционных, изоляционных с металлической оболочкой, стальных), глухих коробах, замкнутых каналах строительных конструкций, а также специальными проводами под штукатуркой.

Электропроводка, соединяющая наружные электрические сети с внутренними, называется *вводом*.

Правильный выбор установочных проводов должен учитывать условия прокладки, требуемое количество жил, их сечение, напряжение, при котором провода будут эксплуатироваться.

Каждый провод должен быть рассчитан на допустимую длительную токовую нагрузку, т. е. на ток, который, проходя длительное время по проводам, не вызывает их перегрева.

Чтобы обеспечить нормальный режим работы провода или кабеля, соединительных контактов и изоляции, а также пожарную безопасность, нагрев проводников ни при каких условиях не следует допускать выше температур, указанных в таблице 3.1.

Нормирование предельно допустимых температур проводников теоретически позволяет вывести соотношение между током и температурой нагрева жил.

Ранее было показано, что температура нагрева проводника определяется в установившемся режиме как

$$t^{\circ} = \frac{UI}{k_T S} + t_{\circ}^{\circ}$$

Заменяя напряжение в соответствии с законом Ома на произведение $I \cdot R$, и учитывая, что

$$R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$$

для проводников круглого сечения, где ρ — удельное объемное сопротивление (Ом·см²/см); l — длина проводника (см); d — диаметр проводника (см); R — сопротивление проводника (Ом), получим:

$$t^{\circ} = \frac{\rho \cdot I^2 \cdot 4l}{k_T \cdot \pi d^2 \cdot S} + t_{\circ}^{\circ}$$

Таблица 3.1

Допустимые температуры проводников

Вид и материал проводника	Длительно допустимая температура жил по нормам $t_{ж.н}, ^\circ\text{C}$	Кратковременно допустимая температура жил при перегрузках $t_{п}, ^\circ\text{C}$	Максимально допустимое превышение температуры жил по нормам при токе КЗ $t_{y.н}, ^\circ\text{C}$	
Шины и голые провода: медные алюминиевые Кабели с бумажной пропитанной изоляцией при напряжении: до 3 кВ до 6 кВ до 10 кВ Кабели и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией	70	125	300	
	70	125	200	
	80 65 60	125 100 90	Медные жилы	Алюминиевые жилы
			200	150
			200	150
			200	200
	65	110	150	150

Учитывая, что $S = \pi \cdot d \cdot l$, последнее выражение можно записать как

$$t^\circ = \frac{4\rho \cdot I^2}{k_T \cdot \pi^2 d^3} + t_O^\circ.$$

Откуда следует:

$$I = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{1}{\rho} k_T d^3 (t^\circ - t_O^\circ)}.$$

Полученное выражение позволяет определить ток по заданному перепаду температуры $(t^\circ - t_O^\circ)$. По этой же формуле можно определить допустимый длительный ток для голого проводника, исходя из заданной по нормам предельной температуры проводника и расчетной температуры среды, или значение тока для любых других условий.

Хотя допустимые токи для голых проводников, исходя из перепада температур и материала жил, можно определить по формулам, в практических расчетах обычно пользуются готовыми таблицами допустимых длительных токов.

Для расчета сечения проводов по допустимой длительной токовой нагрузке необходимо знать номинальный ток, который должен проходить по проектируемой электрической проводке. Зная номинальный ток, сечение провода находят по ПУЭ — таблица 1.3.4, таблица 1.3.5 и т. д. В качестве иллюстрации в таблице 3.2 приведены выдержки из упомянутых таблиц с учетом стандартных сечений жил проводов.

Таблица 3.2

Допустимые длительные токи для проводов и шнуров с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией проложенных открыто

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка в А	
	медные жилы	алюминиевые
0,5	11	—
0,75	15	—
1	17	—
1,5	23	—
2,5	30	24
4	41	32
6	50	39
10	80	55
16	100	80
25	140	105
35	170	130
50	215	165
70	270	210

Например, номинальный ток равен 50 А; сечение медной жилы провода должно быть 6 мм².

Номинальный ток и допустимые длительные токовые нагрузки, указанные в таблице, могут не совпадать по величине. В таком случае сечение находят по ближайшей большей номинального тока допустимой токовой нагрузке.

Например, по проводам должен проходить номинальный ток 74 А; ближайшая бóльшая по величине допустимая длительная токовая нагрузка 80 А (см. таблицу 3.2); значит, требуется провод сечением 10 мм², если жилы его медные, или сечением 16 мм², если жилы алюминиевые.

Рассмотренная выше методика является *необходимой*, но в некоторых случаях *недостаточной*!

Нормальная работа электроприемников протекает при номинальном напряжении, соответствующем их паспортным данным. Любое отклонение подведенного напряжения от номинального ухудшает работу электроприемников и условия техники безопасности, а иногда увеличивает пожаровзрывоопасность применяемого электрооборудования. Например, понижение напряжения у электрических ламп накаливания на 5 % по сравнению с номинальным уменьшает световой поток лампы на 17 %, понижение напряжения у асинхронных электродвигателей на 10 % при номинальной нагрузке на валу приводит к увеличению тока статора и повышению температуры обмотки.

Так как напряжение сильно влияет на работу электроприемников, необходимо так проектировать и эксплуатировать сеть, чтобы электроприемники работали под напряжением, близким к номинальному.

В соответствии с ПУЭ ссылающимися на ГОСТ 13109-97 *отклонение напряжения на зажимах электродвигателей от номинального, отклонение напряжения у осветительных приборов должно быть не более $\pm 5\%$ номинального напряжения*. Для отдельных потребителей устанавливаются специальные требования к допустимым отклонениям напряжения. Из обычных потребителей наиболее жесткие требования к допустимому отклонению напряжения предъявляют осветительные установки.

Сечение проводов **по потере напряжения** рассчитывают при проектировании электрических сетей, от которых питаются электроприемники промышленных предприятий, транспорта, крупных жилых и общественных зданий. При проектировании небольших электроустановок, например электроустановок отдельных помещений, потерей напряжения в проводах можно пренебречь, т. к. она очень мала.

Для определения сечения проводов по потере напряжения рассмотрим двухпроводную линию с однофазным приемником, включенным в конце линии (см. рис. 3.5).

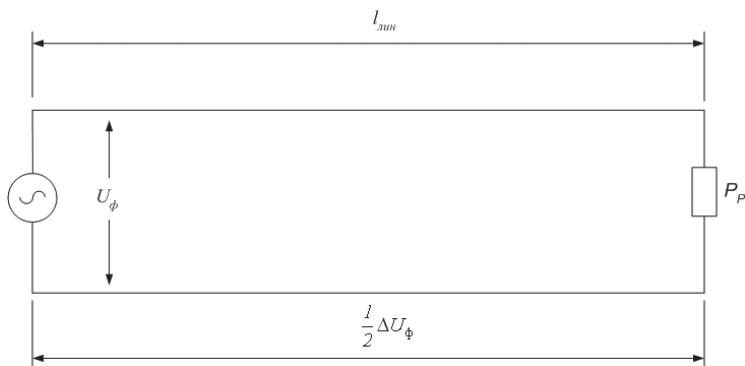


Рис. 3.5. Двухпроводная линия с однофазным приемником

При питании электроприемника, включенного в конце линии, номинальный ток:

$$I_H = \frac{P_p}{U_{\phi}}. \quad (3.1)$$

При напряжении до 1000 В можно считать, что реактивное сопротивление линии $x \approx 0$, и потеря напряжения на участке цепи:

$$\Delta U = I_H \cdot R. \quad (3.2)$$

Активное сопротивление линии с учетом двух проводов:

$$R = \frac{2l}{\gamma \cdot s}, \quad (3.3)$$

где l — длина линии (м); s — сечение провода (мм^2); $\gamma = \frac{l}{\rho}$ — удельная проводимость ($\text{м/Ом} \cdot \text{мм}^2$) (для алюминиевых проводов $\gamma = 33$, для медных $\gamma = 54$).

Подставив (3.1) и (3.3) в (3.2), получим:

$$\Delta U = \frac{2P_p l}{U_{\phi} \gamma \cdot s}. \quad (3.4)$$

С другой стороны, обозначив допустимую потерю напряжения в процентах как k , ΔU можно выразить и следующим образом:

$$\Delta U = \frac{kU_{\phi}}{100 \%}. \quad (3.5)$$

Приравняв (3.4) и (3.5) и записав полученное выражение относительно сечения провода, получим:

$$s = \frac{2P_p l}{\gamma k U_{\phi}^2} \cdot 100 \%.$$

Выбирается такое стандартное сечение провода s , чтобы оно было больше или равно расчетному.

На практике, с целью упрощения расчетов и ускорения работы, пользуются упрощенными формулами и таблицами моментов для различных сетей.

3.5. Требования к электропроводкам в пожароопасных и взрывоопасных зонах

Требования к электропроводкам в пожароопасных зонах регламентируются Главой 7.4 ПУЭ.

Согласно ПУЭ в пожароопасных зонах любого класса кабели и провода должны иметь покров и оболочку из материалов, не распространяющих горение.

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.

В пожароопасных зонах любого класса применение неизолированных проводов запрещается за исключением случаев, оговоренных в пп. 7.4.27 и 7.4.43 ПУЭ.

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.

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.

Требования к электропроводам во взрывоопасных зонах регламентируются Главой 7.3 ПУЭ.

Во взрывоопасных зонах любого класса применение неизолированных проводников, в том числе токопроводов к кранам, талям и т. п., запрещается.

Во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Ia должны применяться провода и кабели с медными жилами. Во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-Iг, В-II и В-IIa допускается применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами.

Провода и кабели в сетях выше 1 кВ, прокладываемые во взрывоопасных зонах любого класса, должны быть проверены по нагреву током короткого замыкания.

Проводники ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором до 1 кВ должны быть во всех случаях (кроме находящихся во взрывоопасных зонах классов В-Iб и В-Iг) защищены от перегрузок, а сечения их должны допускать длительную нагрузку не менее 125 % номинального тока электродвигателя.

Нулевые рабочие и нулевые защитные проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

Гибкий токопровод до 1 кВ во взрывоопасных зонах любого класса следует выполнять переносным гибким кабелем с медными

жилами, с резиновой изоляцией, в резиновой маслобензиностойкой оболочке, не распространяющей горение.

Во взрывоопасных зонах любого класса могут применяться: а) провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией; б) кабели с резиновой, поливинилхлоридной и бумажной изоляцией в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках.

Применение кабелей с алюминиевой оболочкой во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Iа запрещается.

Ввод проложенных в трубе проводов в машины, аппараты, светильники и т. п. должен выполняться совместно с трубой, при этом в трубе на вводе должно быть установлено разделительное уплотнение, если во вводном устройстве машины, аппарата или светильника такое уплотнение отсутствует.

При переходе труб электропроводки из помещения со взрывоопасной зоной класса В-I или В-Iа в помещение с нормальной средой или во взрывоопасную зону другого класса, с другой категорией или группой взрывоопасной смеси, или наружу, труба с проводами в местах прохода через стену должна иметь разделительное уплотнение в специально предназначенной для этого коробке.

Разделительные уплотнения, установленные в трубах электропроводки, должны испытываться избыточным давлением воздуха 250 кПа (около 2,5 атмосфер) в течение 3 мин. При этом допускается падение давления не более чем до 200 кПа (около 2 атмосфер).

Кабели, прокладываемые во взрывоопасных зонах любого класса открыто (на конструкциях, стенах, в каналах, туннелях и т. п.), не должны иметь наружных покровов и покрытий из горючих материалов (джут, битум, хлопчатобумажная оплетка и т. п.).

Длину кабелей выше 1 кВ, прокладываемых во взрывоопасных зонах любого класса, следует по возможности ограничивать.

При прокладке кабелей во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Iа с тяжелыми или сжиженными горючими газами следует, как правило, избегать устройства кабельных каналов. При необходимости устройства каналов они должны быть засыпаны песком.

Во взрывоопасных зонах любого класса запрещается устанавливать соединительные и ответвительные кабельные муфты, за исключением искробезопасных цепей.

Вводы кабелей в электрические машины и аппараты должны выполняться при помощи вводных устройств. Места вводов должны быть уплотнены.

Если во взрывоопасной зоне кабель проложен в стальной трубе, то при переходе трубы из этой зоны в невзрывоопасную зону или помещение со взрывоопасной зоной другого класса либо с другими категорией или группой взрывоопасной смеси, труба с кабелем в месте прохода через стену должна иметь разделительное уплотнение.

Отверстия в стенах и в полу для прохода кабелей и труб электропроводки должны быть плотно заделаны негорючими материалами.

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.

Применение шинопроводов во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ig, В-II и В-IIa запрещается.

Наружную прокладку кабелей между взрывоопасными зонами рекомендуется выполнять открыто: на эстакадах, тросах, по стенам зданий и т. п., избегая по возможности прокладки в подземных кабельных сооружениях (каналах, блоках, туннелях) и траншеях.

3.6. Основные правила монтажа электропроводок

При монтаже электропроводок применяются различные монтажные и крепежные изделия: дюбели для шурупов, винтов и болтов; скобы стальные и полиэтиленовые для крепления проводов, кабелей и труб; муфты натяжные тросовые; подвески для тросовых проводок; накладки для крепления труб и кабелей; втулки пластмассовые, фарфоровые и деревянные (разъемные и неразъемные) для труб и защиты проводов в местах прохода их через стены и перегородки; коробки протяжные и разветвительные; наконечники для оконцевания жил; гильзы для соединения проводов опрессовкой и др.

Способы прокладки электропроводок показаны на рис. 3.6.

Открытая проводка выполняется струнной, тросовой, в коробах или лотках как проводами, так и токопроводами.

Под *токопроводами* понимают устройства, состоящие из плоских или круглых, неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

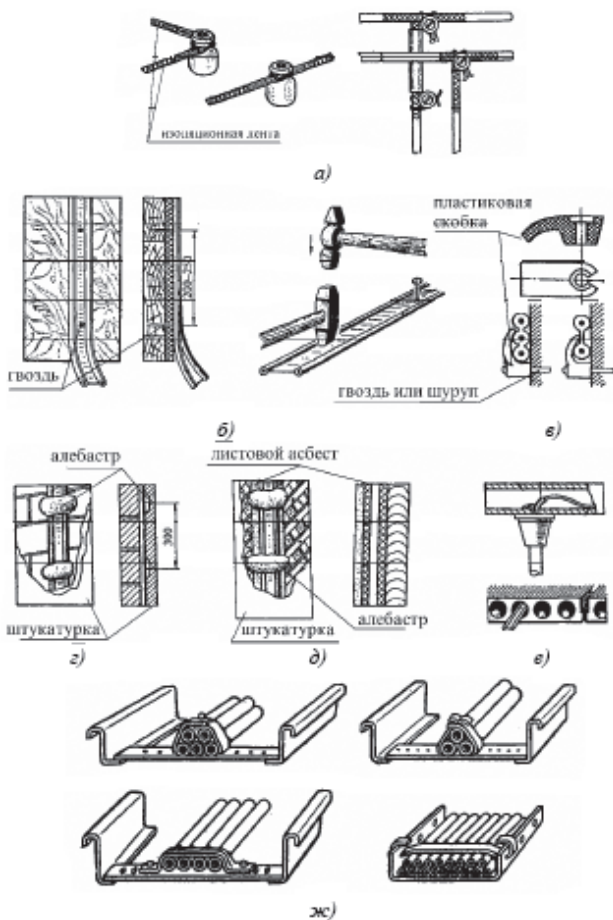


Рис. 3.6. Способы прокладки электропроводов:

- а) на роликах-изоляторах; б) открыто плоским проводом;
- в) на пластиковых скобках; г) скрыто (под штукатурку) при негорючем основании;
- д) под штукатурку при горючем (деревянном) основании;
- е) в каналах железобетонных конструкций; ж) на лотках

Наиболее мощные цепи монтируются из шинопроводов (например, КЗШ-0,4), изготавливаемых централизованно на специализированных заводах по заказам монтажных организаций или спецификациям и техническим заданиям проектных организаций. Мощные шинопроводы поставляются на место монтажа отдельными блоками, подготовленными для сборки и установки. Монтажные блоки маркируются заводом в соответствии с чертежами общего вида шинопровода и комплектной ведомостью.

Провода и кабели прокладывают по поверхности несгораемых строительных конструкций зданий, а также по каналам в них. При прокладке незащищенных проводов принимают меры, исключаящие их случайное соприкосновение со сгораемыми материалами. В кабельных каналах, проходящих по электротехническим и другим производственным помещениям, прокладывают только кабели и провода с оболочками, не поддающимися возгоранию.

Соединения и ответвления проводов и кабелей не должны испытывать механических усилий, при этом жилы проводов и кабелей должны быть изолированы. Соединения и ответвления проводов, проложенных внутри неоткрывающихся коробов, в трубах и гибких металлических рукавах, проложенных открыто или скрыто, выполняют в специальных соединительных и ответвительных коробах. Соединение и ответвление проводов внутри коробов со съемными крышками и на лотках выполняют в зажимах с изолирующими оболочками, обеспечивающими непрерывность изоляции. Провода в местах выхода из жестких труб и гибких металлических рукавов защищают от повреждений втулками, раззенковкой концов труб и другими способами. При этом в местах, доступных для осмотра и ремонта, предусматривают запас провода или кабеля, обеспечивающий возможность повторного соединения, ответвления или присоединения.

Скрытая проводка выполняется в трубах, металлических рукавах, закрытых коробах, замкнутых каналах, пустотах строительных конструкций, штукатуренных бороздах, под штукатуркой, а также замоноличенной в строительные конструкции при их изготовлении.

Для стационарных электропроводок предпочтительно применяют провода с алюминиевыми жилами, однако использование алюминиевых проводов недопустимо в цепях, где могут присутствовать вибрации. Там можно использовать только провода с медными жилами.

Провода и кабели могут быть проложены вплотную друг к другу пучками (группами) различной формы (например, круглой, прямоугольной в несколько слоев и т. п.) на лотках, опорных поверхностях, тросах, струнах, полосах и других несущих конструкциях. Провода и кабели каждого пучка должны скрепляться между собой. В коробах провода и кабели прокладывают многослойно с упорядоченным или произвольным (россыпью) взаимным расположением.

3.7. Защита в электрических сетях

Для ограничения времени действия токов короткого замыкания и перегрузки в электрических сетях, т. е. для ликвидации опасных последствий этих явлений, служат аппараты защиты.

Наиболее распространенными аппаратами защиты являются плавкие предохранители и воздушные автоматические выключатели.

Плавкий предохранитель состоит из (см. рис. 3.7): корпуса (патрона), контактного устройства и плавкой вставки.

Принцип действия плавких предохранителей основан на выделении тепла током, проходящим по плавкой вставке. Если количество выделяющегося тепла больше отводимого, то избыток его вызывает повышение температуры вставки, и она перегорает (плавится). К основным параметрам предохранителей относятся: номинальное напряжение предохранителя $U_{н. пр.}$ — напряжение, указанное на предохранителе, на которое он рассчитан; номинальный ток плавкой

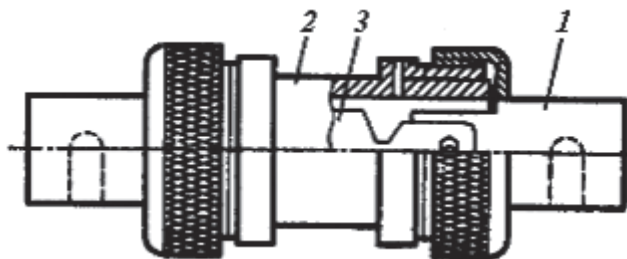


Рис. 3.7. Плавкий предохранитель типа ПР:
1 — контактный нож; 2 — патрон; 3 — плавкая вставка

вставки $I_{н. вст.}$ — ток, указанный на плавкой вставке, который она выдерживает длительное время, не перегреваясь и не плавясь; номинальный ток предохранителя $I_{н. пр.}$ — ток, указанный на самом предохранителе, равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя, на который рассчитаны его токоведущие части; предельный ток отключения при данном напряжении $I_{пр. пр.}$ — наибольшее значение тока короткого замыкания сети, при котором гарантируется надежная работа предохранителя без разрушения его корпуса; пограничный ток плавкой вставки I_{∞} — ток, при котором вставка расплавится через промежуток времени, достаточный для достижения ею установившейся температуры.

Полное время отключения электрической цепи плавким предохранителем определяется временем нагревания вставки до температуры плавления материала, из которого она изготовлена, расплавлением ее и горением дуги.

Зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем $t_{откл.}$ от отношения протекающего по вставке тока I к номинальному току $I_{ном.}$ плавкой вставки называется *защитной характеристикой*. На рис. 3.8 приведены защитные характеристики 1–3 для трех плавких вставок, имеющих различную форму ($t_{откл.}$ приведено в минутах). Защитная характеристика плавких вставок неустойчива. Время перегорания вставки зависит от состояния контактов

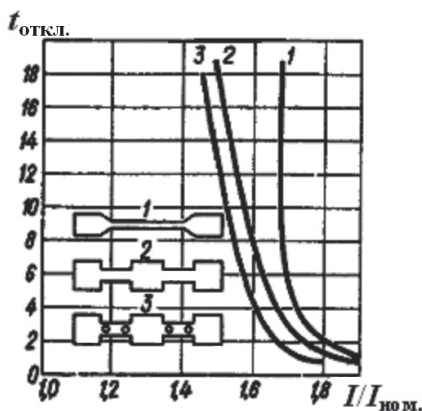


Рис. 3.8. Защитные характеристики плавких вставок различной формы

предохранителя и самой плавкой вставки, температуры окружающего воздуха, старения металла вставки, условий охлаждения, материала, длины и формы вставки (например, как видно из рис. 3.8, малая площадь сечения плавкой вставки в узком месте сокращает время ее перегорания). Вот почему защита электрических сетей и токоприемников от перегрузок с помощью плавких предохранителей недостаточно надежна. С их помощью осуществляется надежная защита лишь от коротких замыканий и больших (60 % и выше) перегрузок.

Для определения надежности защиты токоприемников плавкими предохранителями от токов перегрузки и коротких замыканий необходимо сопоставить защитную характеристику предохранителя и тепловую характеристику защищаемого токоприемника.

Тепловая характеристика токоприемника электрической установки изображается кривой и выражает зависимость промежутка времени $t_{\text{нагрев}}$, в течение которого его температура становится предельно допустимой, от отношения протекающего по токоприемнику тока I к его номинальному току $I_{\text{ном}}$.

На рис. 3.9 показано сопоставление защитных характеристик двух плавких вставок (кривые b и c) предохранителей и тепловая характеристика токоприемника (кривая a).

Вставка с характеристикой b обеспечивает защиту токоприемника с тепловой характеристикой a при любой кратности тока. Вставка с характеристикой c может обеспечить защиту этого токоприемника только при больших кратностях тока, в данном случае при кратности более 1,43. При меньших кратностях температура защищаемого токоприемника может превысить предельно допустимую раньше, чем перегорит вставка, и токоприемник выйдет из строя и может стать источником зажигания.

Наиболее хорошими защитными характеристиками обладают плавкие вставки с наиболее пологой защитной характеристикой, с малым временем отключения при кратностях тока от 1,25 до 2,0.

В тех случаях, когда электроустановки необходимо защищать от токов перегрузки, применяются плавкие вставки из легкоплавких металлов (олово, свинец, цинк). Они обладают большой теплоемкостью и тепловой инерцией и поэтому плавятся с некоторой выдержкой времени.

Вставки из тугоплавких металлов (например, из меди) имеют малую теплоемкость и высокую проводимость. Они являются

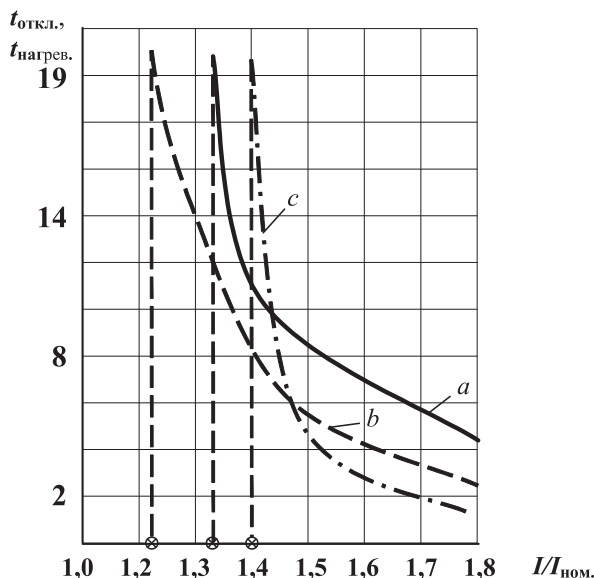


Рис. 3.9. Защитные характеристики двух плавких вставок (b, c) и тепловая характеристика защищаемого токоприемника (a)

быстродействующими, с малой тепловой инерцией, имеют меньшую выдержку времени при перегрузках и больше подходят для защиты токоприемников от токов короткого замыкания.

Плавкие предохранители, применяемые в электроустановках с напряжением до 1000 В, по своей конструкции делятся на три типа.

Пластинчатые предохранители представляют собой открытую одну или несколько параллельных проволок, впаянных в медные или латунные плоские наконечники. При перегорании вставки таких предохранителей происходит разбрызгивание во все стороны расплавленного металла, что создает опасность для обслуживающего персонала, а в определенных условиях — и опасность возникновения пожара и взрыва. Применение открытых предохранителей ограничено и может быть допущено только в специальных помещениях (закрытых распределительных устройствах, электрощитовых и т. п.). Открытые пластинчатые предохранители изготавливаются на напряжение до 500 В и ток до 350 А.

К *пробочным предохранителям* относятся однополюсные резьбовые предохранители типов Ц27, Ц33, ПД, ПДС и др. Такие предохранители применяются в тех случаях, когда требуются малые габариты распределительных устройств. Предохранители ПД и ПДС заполнены кварцевым песком, облегчающим гашение дуги, и предназначены для непосредственной установки на токоведущие шины распределительных устройств.

Трубчатые предохранители производятся нескольких типов: с закрытыми фибровыми разборными трубками без наполнителя; закрытые с мелкозернистым наполнителем; с открытыми фарфоровыми трубками. Трубчатые разборные предохранители ПР выпускаются на напряжение до 500 В, на номинальные токи предохранителя от 15 А до 1000 А и номинальные токи плавких вставок от 6 А до 1000 А. К предохранителям с мелкозернистым наполнителем относятся предохранители типов НПН, НПР, ПН – 2, ПН – Р, КП.

Автоматические воздушные выключатели (автоматы) применяются в электроустановках с напряжением до 1000 В. Они предназначены для автоматического отключения электроустановок при возникновении в них перегрузок и коротких замыканий, при исчезновении или снижении напряжения ниже нормы, а также для нечастой коммутации в нормальных режимах. Главной частью автоматического выключателя является реле. Реле с относящимися к нему механизмами отключения автоматов называется *расцепителем*. Автоматы бывают с электромагнитными и тепловыми расцепителями.

В зависимости от типа расцепителя автоматы изготавливают только с электромагнитным расцепителем (М), только с тепловым расцепителем (Т) и с комбинированным расцепителем (МТ).

Автоматы с электромагнитным расцепителем служат для защиты электроустановок от последствий коротких замыканий.

Автоматы с тепловым расцепителем служат для защиты электроустановок от перегрузок.

Автоматы с комбинированным расцепителем обеспечивают автоматическую защиту электроустановок от последствий перегрузок и коротких замыканий. При небольших токах перегрузки действует тепловой расцепитель с выдержкой времени. При коротких замыканиях срабатывает электромагнитный расцепитель мгновенного действия. Отключение автомата происходит при срабатывании любого расцепителя.

На рис. 3.10 приведена принципиальная кинематическая схема автоматического выключателя. В автоматический выключатель, как правило, входят следующие основные элементы: контакты с дугогасительной системой; привод; механизм свободного расцепления; расцепители; вспомогательные контакты.

Контакты автоматов должны без перегрева длительно пропускать номинальные токи и выдерживать воздействие дуги при отключении токов короткого замыкания. В автоматах на небольшие токи предусматривается одна пара контактов. В более мощных применяют две пары контактов — главные 3, 4 и дугогасительные 2. В нормальном режиме основная часть тока проходит по главным контактам, выполненным из меди, серебра или его сплавов. При отключении сначала размыкаются главные контакты, а затем — дугогасительные, на которых и гасится дуга.

При протекании токов короткого замыкания между контактами создается электродинамическое усилие, стремящееся разомкнуть контакты. Чтобы компенсировать эту силу, шинки 1 изогнуты петлей. В результате токи в шинках имеют разное направление, что создает электродинамическую силу, увеличивающую нажатие в контактах 2 (рис. 3.10).

Дугогасительная система автомата предназначена для гашения дуги, возникающей при отключении автомата. Широко применяют дугогасительные камеры со стальными пластинами (эффект деления длинной дуги на короткие). При больших отключаемых токах применяют продольно-щелевые и лабиринтно-щелевые камеры, где использован эффект гашения дуги в узкой щели. Материал камеры должен обладать высокой дугостойкостью.

Приводы автоматов могут быть ручными и дистанционными. В первом случае включение производится поворотом рукоятки 12. Во втором случае воздействие осуществляется электромагнитом 11 или специальным электродвигателем. Возможно применение пневматического привода. Отключение автоматов происходит под действием отключающих пружин 14 при срабатывании механизма свободного расцепления.

Механизм свободного расцепления обеспечивает отключение автомата в любой момент времени, в том числе (при необходимости) и в процессе включения. Он состоит из шарнирно связанных рычагов 13 и опоры. При включении движение от рукоятки 12 передается

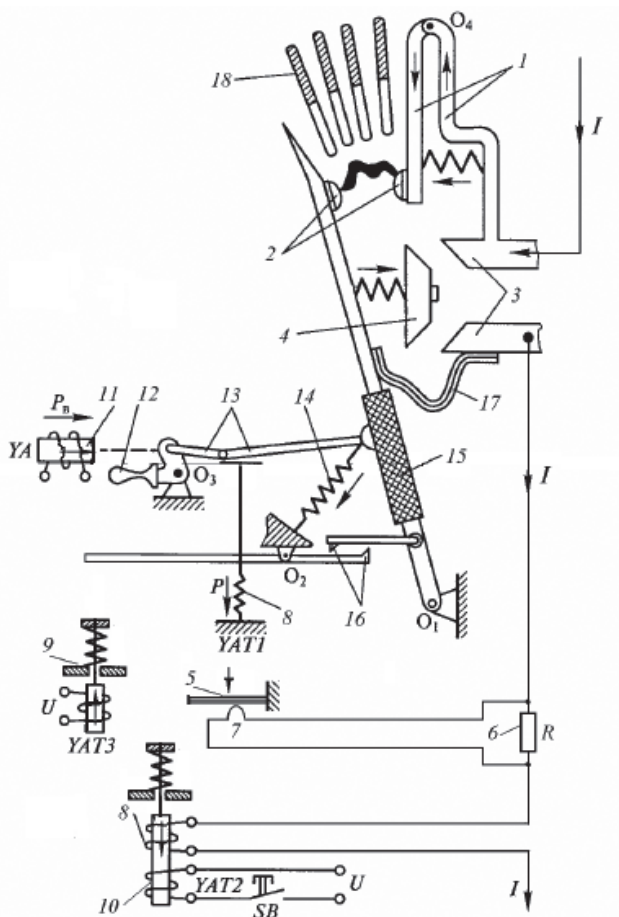


Рис. 3.10. Принципиальная кинематическая схема автоматического выключателя (при наличии тока в обмотках реле сердечники втягиваются в катушки по стрелке):

1 — шинки электродинамического компенсатора; 2 — дугогасительные контакты; 3 — главные неподвижные контакты; 4 — главный подвижный контакт; 5 — биметаллический (тепловой) расцепитель; 6 — добавочное сопротивление; 7 — нагревательный элемент; 8 — максимальный расцепитель; 9 — минимальный расцепитель; 10 — независимый расцепитель; 11 — электромагнитный привод; 12 — рукоятка ручного включения; 13 — рычаги механизма свободного расцепления; 14 — отключающая пружина; 15 — контактный рычаг; 16 — удерживающая защелка; 17 — гибкая связь; 18 — дугогасительная камера

через рычаги 13 контактному рычагу 15, который замыкает сначала дугогасительные (2), а затем главные (3, 4) контакты. Когда автомат включен, рычаги 13 встают в «мертвое положение», опора не позволяет им переместиться вниз.

Если произойдет включение на существующее короткое замыкание, то от действия расцепителя 8 механическая связь «сломает» рычаги 13 по шарнирному соединению O_3 и под действием отключающей пружины 14 контактная система переместится влево, произойдет отключение.

Биметаллический (тепловой) расцепитель 5 получает тепло от нагревателя 7, присоединенного к сети через шунт 6. При нагревании биметаллическая пластина, состоящая из двух металлов, изгибается и передает усилие тяге, ломающей рычаги свободного расцепления. С помощью теплового расцепителя осуществляется защита от перегрузки. Время срабатывания зависит от тока перегрузки: чем больше ток, тем быстрее нагревается биметаллическая пластина и скорее происходит отключение. Благодаря значительной тепловой инерции тепловые расцепители не реагируют на пусковые токи электродвигателей.

Максимальный расцепитель 8 состоит из катушки и сердечника. Когда по катушке протекает ток короткого замыкания, сердечник создает усилие, ломающее рычаги 13, что приводит к отключению автомата. Ток срабатывания максимального расцепителя можно регулировать. Кроме того, максимальный расцепитель может быть снабжен механизмом выдержки времени, зависящей или не зависящей от тока. Такие расцепители позволяют осуществить селективную защиту.

Минимальный расцепитель 9 отключает автомат при недопустимом снижении напряжения, а независимый 10 — при дистанционном отключении автомата кнопкой SB.

Вспомогательные контакты (блок-контакты) (на рис. 3.10 не показаны) механически связаны с главными контактами и используются в цепях управления, сигнализации и блокировки.

Для правильного выбора автоматических выключателей необходимо знать их основные технические параметры:

1. *Номинальным током* $I_{\text{ном}}$ и напряжением $U_{\text{ном}}$ выключателя называют значения переменного или постоянного тока и напряжения, которые способны выдерживать главные токоведущие части выключателя в длительном режиме.

2. *Калибруемое значение номинального рабочего тока теплового (или полупроводникового) расцепителя $I_{\text{расц.}}$* — это максимальное значение переменного или постоянного тока, при длительном протекании которого не происходит отключения автоматического выключателя. С учетом запаса ток отключения обычно составляет $(1,05 \dots 1,2) I_{\text{расц.}}$.

Номинальный ток расцепителя $I_{\text{расц.}}$ может отличаться от номинального тока выключателя $I_{\text{ном.}}$, поскольку в один и тот же выключатель могут быть встроены разные расцепители с меньшим номинальным током. Например, выключатель с номинальным током 400 А может иметь катушки расцепителя на номинальные токи 160, 250 или 400 А.

3. *Уставка по току срабатывания в зоне короткого замыкания* — это такое значение переменного или постоянного тока, при котором происходит практически мгновенное срабатывание автоматического выключателя с разрывом электрической цепи.

В паспортных данных ток срабатывания в зоне короткого замыкания нормируется либо в единицах тока (уставка тока электромагнитного расцепителя, А), либо как величина, кратная току теплового расцепителя (кратность тока электромагнитного расцепителя), например $(3 \dots 10) \cdot I_{\text{расц.}}$.

4. *Время срабатывания в зоне короткого замыкания* нормируется для селективных выключателей и определяет время выдержки до разрыва электрической цепи при достижении тока уставки. Обычно составляет десятые доли секунды.

5. *Предельной коммутационной способностью выключателя (ПКС)* называют максимальное значение тока короткого замыкания, которое выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии.

6. *Одноразовой предельной коммутационной способностью (ОПКС)* выключателя называют наибольшее значение тока, которое выключатель может отключить один раз. После этого дальнейшая работа выключателя не гарантируется, может потребоваться его капитальный ремонт или замена.

7. *Электродинамическая стойкость* характеризуется амплитудой ударного тока короткого замыкания, который способен пропустить выключатель без остаточных деформаций деталей или недопустимого отброса контактов, приводящего к их привариванию

или выгоранию. Если значение электродинамической стойкости в каталоге не приводится, то это означает, что стойкость выключателя определяется его коммутационной способностью.

8. *Термическая стойкость* характеризуется допустимым значением теплового импульса, отражающего количество тепла, которое может быть выделено в выключателе за время действия тока короткого замыкания. В каталогах термическая стойкость задается величиной, измеряемой в $\text{кА}^2\cdot\text{с}$. Если термическая стойкость в каталоге отсутствует, то это означает, что выключатель является термически стойким при всех временах отключения, определяемых его защитной характеристикой.

9. *Собственное время отключения выключателя* — время срабатывания расцепителей и механизма выключателя до начала расхождения силовых контактов (используется при выборе выключателей по предельной коммутационной способности).

10. *Полное время отключения выключателя* — время срабатывания расцепителей, механизма выключателя, расхождения силовых контактов и окончания гашения дуги в дугогасительных камерах (используется при проверке селективности защиты).

Так же, как у плавких предохранителей, взаимосвязь времени и тока срабатывания автоматических выключателей выражается защитными характеристиками (см. рис. 3.11), которые могут быть трех видов:

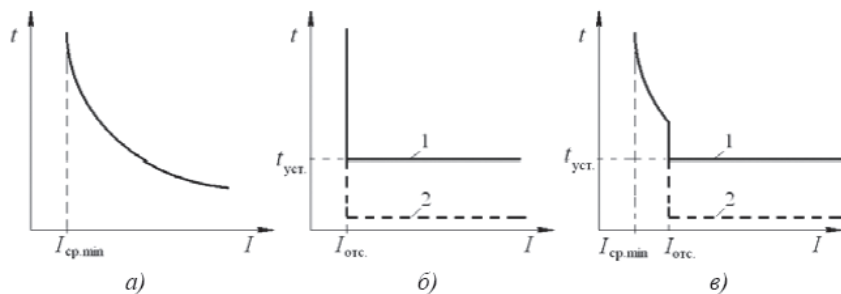


Рис. 3.11. Защитные характеристики автоматических выключателей:

а — зависящая, *б* — независимая, *в* — ограниченно зависящая;

1 — с выдержкой времени при коротком замыкании;

2 — без выдержки времени

а) зависимые от тока характеристики времени срабатывания (рис. 3.11, а) имеют выключатели только с тепловыми расцепителями, которые применяются сравнительно редко вследствие недостаточной предельной коммутационной способности и быстрого действия;

б) независимые от тока характеристики времени срабатывания имеют выключатели с токовой отсечкой, выполненной с помощью электромагнитного или полупроводникового расцепителя, который действует без выдержки времени или с постоянной выдержкой времени;

в) при ограниченно зависимой от тока двухступенчатой характеристике времени срабатывания в зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени, в зоне токов короткого замыкания — с независимой от тока заранее установленной выдержкой времени (для селективных выключателей) или без выдержки времени (для неселективных выключателей); выключатель имеет либо тепловой и электромагнитный (комбинированный) расцепитель, либо двухступенчатый электромагнитный или полупроводниковый расцепитель.

Чаще всего используются установочные автоматы типов АЗ700, АЗ100, АЕ – 20, АЕ – 1000, АЕ – 2000, АП – 50, ВА – 16, ВА – 57 и др. Они не рассчитаны для работы в средах, насыщенных токопроводящей пылью или содержащих едкие пары или газы в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, во взрывоопасных средах, а также в местах, не защищенных от попадания воды. Эти автоматы не рассчитаны также для работы в местах, подверженных ударам и вибрации.

По условиям пожарной безопасности аппараты защиты устанавливают на панелях сборок, щитов, шкафов и блоков управления так, чтобы возникающие в них искры и электрическая дуга не могли причинить вреда обслуживающему персоналу, воспламенить или повредить окружающие предметы. В помещениях сырых и с химически активной средой аппараты защиты следует располагать в уплотненных шкафах или выносить их из этих помещений: повышенное содержание влаги и химически активных веществ в воздухе вызывает окисление и постепенное разрушение аппаратов защиты. В пожароопасных зонах классов П-I и П-II аппараты защиты должны быть установлены в закрытых шкафах (IP54), а в помещениях

класса П-Па — в защищенных (IP33). Лучше всего устанавливать аппараты защиты в отдельных непожароопасных помещениях распределительных устройств.

Установка шкафов с аппаратами защиты во взрывоопасных зонах всех классов запрещается, т. к. при нормальных или аварийных режимах могут образовываться взрывоопасные смеси, для которых электрические искры и дуги являются достаточным источником воспламенения. Исключение составляют щитки в соответствующем исполнении по взрывозащите, например, осветительные щитки ЩОВ-2 и ЩОВ-3 в исполнении ВЗГ.

В электрических силовых сетях для защиты электродвигателей при перегрузках недопустимой продолжительности используются магнитные пускатели с установленными на них тепловыми реле.

Непосредственно магнитные пускатели относятся к аппаратам управления. Электрические аппараты управления осуществляют пуск или остановку машин и агрегатов. Основными видами аппаратов управления являются: контакторы, контроллеры и магнитные пускатели.

По принципу коммутации силовых цепей аппараты управления подразделяются на контактные и бесконтактные. Контактные аппараты имеют подвижные контактные части, размыкающие и замыкающие силовоточные электрические цепи. Бесконтактные аппараты не имеют подвижных коммутирующих контактов. Как правило, бесконтактные аппараты используют управляемые полупроводниковые элементы — тиристоры, коммутирующие силовоточные цепи за счет изменения своего сопротивления под действием слаботочных управляющих сигналов.

На сегодняшний день самыми распространенными аппаратами управления являются магнитные пускатели, применяемые в схемах дистанционного управления различными промышленными электроприводами.

Магнитные пускатели переменного тока — аппараты с контактной системой, замыкаемой электромагнитом. Они служат для дистанционного пуска и остановки трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 75 кВт. Магнитные пускатели состоят из одного или двух контакторов. Пускатели с одним контактором — неревверсивные, с двумя — реверсивные. При наличии тепловых реле пускатели защищают электродвигатели при

перегрузках недопустимой продолжительности. От токов коротких замыканий тепловые реле электродвигатели не защищают!

Устройство нереверсивного магнитного пускателя с одним контактором и двумя тепловыми реле показано на рис. 3.12.

Обмотки двигателя М присоединены к сети через предохранители F, рабочие контакты контактора КМ и нагревательные элементы тепловых реле КСТ. Цепь управления состоит из кнопок SB1 — «пуск» и SB2 — «стоп», катушки электромагнита 5 с сердечником 4 и размыкающих контактов тепловых реле. Кнопка «пуск» блокируется замыкающим контактом SQ (блок-контактом). Защита двигателей при перегрузках осуществляется тепловыми реле: двумя однофазными серии ТРП или одним двухфазным серии ТРН. Тепловые реле отключают двигатель размыкающими контактами

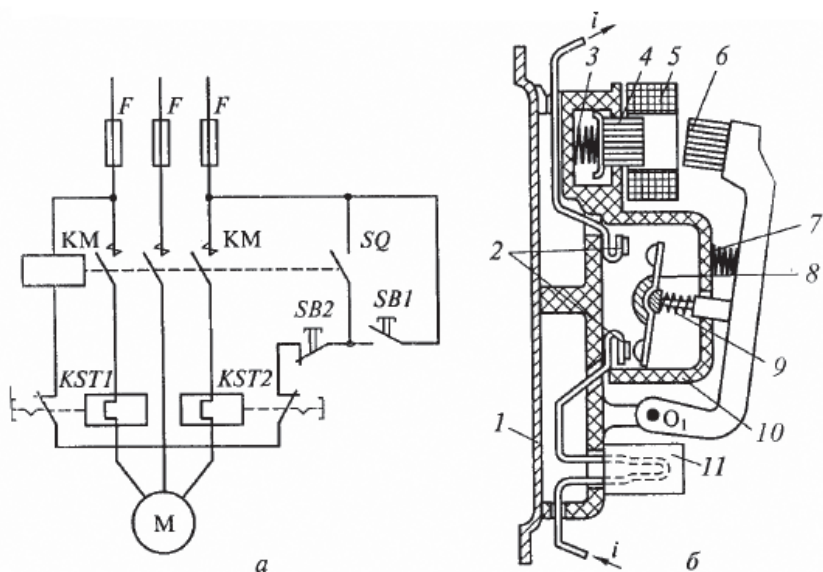


Рис. 3.12. Магнитный пускатель:

а — электрическая схема, *б* — конструктивная схема; 1 — металлическое основание; 2 — неподвижные контакты; 3 — амортизирующая пружина; 4 — сердечник; 5 — катушка; 6 — якорь электромагнита; 7 — отключающая пружина; 8 — контактный мостик; 9 — пружина; 10 — камера; 11 — тепловое реле

при перегрузке на 20 % через 20 мин. Реле ТРП имеют самовозврат и ручной возврат. Реле ТРН имеют только ручной возврат. Тепловые реле ТРП и ТРН позволяют плавно регулировать ток уставки реле. Шкала регулятора тока уставки имеет по пять делений влево и вправо от нуля. Каждое деление шкалы соответствует примерно 5 % номинального тока нагревательных элементов.

Кнопки управления установлены отдельно, обычно у производственной машины (иногда встроены в сами пускатели). Для взрывоопасных установок изготавливают кнопочные станции КУ-90-ВЗГ, КУВ, маслonaполненные ключи управления КУ-700 и др.

По способу защиты от проникновения внутрь воды и внешних твердых предметов магнитные пускатели выпускают со степенями защиты: IP00, IP30, IP40, IP52, IP54, IP64.

Во взрывоопасных зонах используют взрывозащищенные магнитные пускатели вида «е» (повышенной надежности против взрыва) и с масляным наполнением серии ПМ со знаками взрывозащиты НМБ (ПМ712А-25, ПМ712-100 и ПМ711А-250), НМГ (ПМ722А-25, ПМ722А-100, ПМ721-250). Они выпускаются на номинальные токи 25, 100, 150 А при напряжении до 500 В.

Аппараты защиты и управления имеют различные достоинства и недостатки, которые следует учитывать при проектировании и эксплуатации электроустановок особенно в пожаро- и взрывоопасных производствах.

Требования к аппаратам защиты и управления следующие:

1. *Не нагреваться* выше допустимой температуры при нормальной эксплуатации.

2. *Не отключаться* при кратковременных перегрузках (пусковые токи электродвигателей, броски токов при коммутации нагрузок и т. п.).

Для выполнения первого требования следует выбирать аппарат защиты так, чтобы номинальные токи аппарата, плавкой вставки или расцепителей были равны расчетному току сети, т. е. для предохранителей:

$$\begin{aligned} I_{\text{н.пр}} & \\ & \geq I_{\text{р}}; \\ I_{\text{н.вст}} \end{aligned}$$

для автоматов, тепловых реле магнитных пускателей:

$$\begin{aligned} I_{\text{н.нагр.}} \\ I_{\text{н.тепл.}} &\geq I_{\text{р.}} \\ I_{\text{н.эл.маг.}} \end{aligned}$$

Для выполнения второго требования следует учитывать режим работы установки и расчетные токи сети.

При наличии защитных характеристик выбор плавких вставок производится следующим образом: на семейство кривых 1, 2, 3, 4 (рис. 3.13) наносится пусковая характеристика электродвигателя 5. Выбирается та вставка, характеристика которой лежит правее пусковой характеристики электродвигателя, для случая на рис. 3.13 — с характеристикой 2.

При отсутствии защитных характеристик предохранителей соотношение номинального тока плавкой вставки и пускового тока электродвигателя выбирается из условия:

$$I_{\text{н.вст.}} \geq \frac{I_{\text{пуск.}}}{2,5}$$

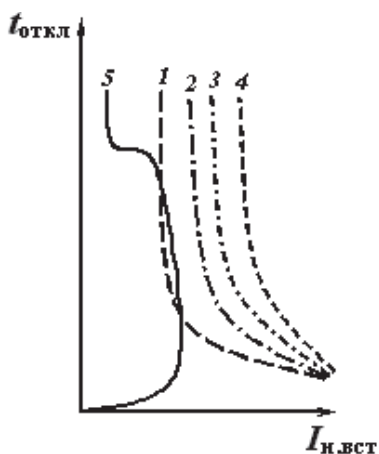


Рис. 3.13. Защитные характеристики плавких вставок 1, 2, 3, 4 и пусковая характеристика электродвигателя 5

При защите автоматами с электромагнитным или комбинированным расцепителем необходимо, чтобы ток срабатывания $I_{\text{ср}}$ (ток уставки) расцепителя превышал максимальный кратковременный ток линии $I_{\text{макс}}$:

– для автоматов АЗ120, АЗ130, АЗ140, АП-50:

$$I_{\text{ср.эл.м}} \geq 1,25 I_{\text{макс}};$$

– для автоматов АЗ110:

$$I_{\text{ср.эл.м}} \geq 1,5 I_{\text{макс}}.$$

Ток срабатывания теплового расцепителя автомата и тепловых реле определяется по условиям:

– для автоматов серии АЗ700, АЗ100, АП-50 и ВА:

$$I_{\text{ср.тепл}} \geq 1,25 I_{\text{р}};$$

– для тепловых реле магнитных пускателей при легких условиях пуска электродвигателя (длительность пуска до 10 с):

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{н.нагр}} = I_{\text{н}};$$

– для тепловых реле магнитных пускателей при затяжных пусковых режимах электродвигателей:

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{н.нагр}} = (1,05 \div 1,2) I_{\text{н}}.$$

3. *Отключаться при длительных перегрузках* с выдержкой времени, находящейся в обратной зависимости от величины тока.

4. *Обеспечивать надежное отключение аварийного участка при коротком замыкании* в конце защищаемой линии: в сетях с глухозаземленной нейтралью — при однофазных коротких замыканиях, в сетях с изолированной нейтралью — при двухфазных коротких замыканиях.

Проверка аппаратов защиты на отключение токов короткого замыкания во взрывоопасных установках обязательна. Отключение токов короткого замыкания в конце защищаемой линии обеспечивается при выполнении следующих условий:

– при защите сетей во взрывоопасных зонах:

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.вст}} \geq 4;$$

$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{ср.эл.м}} \geq 1,25 \div 1,4$ (1,25 – для автоматов на номинальные токи свыше 100 А и 1,4 – до 100 А);

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.тепл}} \geq 6;$$

– при защите сетей в невзрывоопасных зонах:

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.вст}} \geq 3;$$

$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{ср.эл.м}} \geq 1,25 \div 1,4$ (1,25 – для автоматов на номинальные токи свыше 100 А и 1,4 – до 100 А);

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.тепл}} \geq 3.$$

При приближенном расчете тока короткого замыкания в сетях напряжением до 1000 В пользуются следующими формулами:

– ток однофазного короткого замыкания в сетях с глухозаземленной нейтралью:

$$I_{\text{к.з (к) (1)}} = U_{\text{ф}} / z_{(\text{ф-0})};$$

– ток двухфазного короткого замыкания в сетях с изолированной нейтралью:

$$I_{\text{к.з (к) (2)}} = U_{\text{л}} / 2z_{\text{ф}}.$$

Заметим, что при расчете токов короткого замыкания напряжение принимается на 5 % выше номинального напряжения сети. Например, если номинальное напряжение сети равно 220 В, то при расчетах используется значение 230 В.

Значения z определяются по:

$$z_{\text{ф-0}} \approx \sqrt{(\sum r_{\text{ф}} + \sum r_{\text{д}} + \sum r_0)^2 + (\sum x_{\text{ф}} + \sum x_0)^2} + z_{\text{т(1)}};$$

$$z_{\text{ф}} = \sqrt{(\sum r_{\text{ф}} + \sum r_{\text{д}} + \sum r_{\text{т}})^2 + (\sum x_{\text{ф}} + \sum x_{\text{т}})^2},$$

где $r_{\phi} = \rho (l / S_{\phi})$, $x_{\phi} = a l$ — активное и индуктивное сопротивления проводника фазы участка цепи (Ом); $r_0 = \rho (l / S_0)$, $x_0 = a l$ — активное и индуктивное сопротивление нулевого проводника (Ом) (здесь ρ — расчетное удельное сопротивление, равное 19 для меди и 32 для алюминия (Ом·мм²/км); l — длина участка цепи (км); S_{ϕ} и S_0 — сечение проводника фазы и соответственно нулевого провода (мм²); a — среднее значение индуктивного сопротивления 1 км проводника, равное 0,07 для кабелей; 0,09 — для проводов, проложенных в трубе; 0,25 — для изолированных проводов, проложенных открыто, на роликах или изоляторах; 0,3 — для воздушных линий низкого напряжения); $r_T = c / S_T$, $x_T = d \cdot r_T$ — активное и индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора (Ом) (здесь S_T — мощность трансформатора (кВ·А); c — коэффициент, равный 4 для трансформаторов до 60 кВ·А; 3,5 — до 180 кВ·А; 2,5 — до 1000 кВ·А; 2,2 — до 1800 кВ·А; d — коэффициент, равный 2 для трансформаторов до 180 кВ·А; 3 — до 1000 кВ·А; 4 — до 1800 кВ·А); r_d — добавочное сопротивление переходных контактов (Ом); $z_{T(1)}$ — расчетное полное сопротивление трансформатора току короткого замыкания на корпус (землю) (Ом).

При отсутствии данных о полном числе контактов и о переходных сопротивлениях в них, включая контакт в точке короткого замыкания, рекомендуется принимать для всех контактов добавочное активное сопротивление r_d , равное:

- для распределительных щитов на подстанциях — 0,015 Ом;
- для первичных цеховых распределительных пунктов напряжением 380 В, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций, — 0,02 Ом;
- для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов, — 0,025 Ом;
- для аппаратуры, установленной непосредственно у электроприемников (контакты, пускатели и т. д.), получающих питание от вторичных распределительных пунктов, — 0,03 Ом.

Значения расчетных сопротивлений $z_{T(1)}$ понижающих трансформаторов со схемой соединения обмоток Y / Y_0 и вторичным напряжением 0,4 / 0,23 кВ для случая однофазного короткого замыкания приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Расчетные сопротивления $z_{т(1)}$ понижающих трансформаторов мощностью до 1600 кВА с вторичным напряжением 0,4 / 0,23 кВ для случая однофазного короткого замыкания при схеме соединения обмоток Y / Y_0

Мощность трансформатора, кВ·А	Первичное напряжение, кВ	$z_{т(1)}$, Ом
25	6 и 10	3,11
40	6 и 10	1,949
63	6 и 10	1,237
	20	1,136
100	6 и 10	0,779
	20 и 35	0,764
160	6 и 10	0,487
	20 и 35	0,478
250	6 и 10	0,312
	20 и 35	0,305
400	6 и 10	0,195
	20 и 35	0,191
630	6 и 10	0,129
	20 и 35	0,121
1000	6 и 10	0,081
	20 и 35	0,077
1600	6 и 10	0,054
	20 и 35	0,051

5. Отключающая способность $I_{пр}$ аппарата защиты должна соответствовать токам короткого замыкания в начале защищаемого участка сети, гарантируя надежную работу без разрушения его корпуса. Для этого необходимо, чтобы

$$I_{пр} \geq I_{к.з. (н)}.$$

Ток трехфазного короткого замыкания периодической составляющей в начале защищаемого участка трехфазной сети (в месте установки аппарата защиты) независимо от режима нейтрали трансформатора определяется по формуле:

$$I_{к.з. (н.) (3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot z_{\phi}}.$$

Ток двухфазного короткого замыкания составляет

$$I_{\text{к.з. (н.)}(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к.з. (н.)}(3)} = 0,87 \cdot I_{\text{к.з. (н.)}(3)}.$$

Аппарат защиты должен срабатывать только в том случае, когда короткое замыкание происходит на участке цепи, защищаемом данным аппаратом, т. е. аппарат защиты должен работать избирательно (селективно). Под *селективным действием* аппаратов защиты следует понимать такую их работу, когда на появление сверхтоков (токов короткого замыкания, перегрузки и т. п.) реагирует только ближайший к месту повреждения защитный аппарат и не отключается последующий аппарат.

Селективность обеспечивается тогда, когда время срабатывания ближайшего к короткому замыканию аппарата защиты значительно меньше времени срабатывания последующего аппарата защиты. С учетом разброса защитных характеристик, для безусловного получения селективности, например предохранителей, необходимо, чтобы время отключения последующего предохранителя превосходило время отключения предохранителя ближайшего к месту повреждения не менее чем

$$t_{\text{откл. (2)}} \geq (1,7 - 3)t_{\text{откл. (1)}}.$$

Коэффициент 1,7 принимается для сетей обычного назначения, коэффициент 3 — для сетей особо ответственного назначения.

При одинаковых предохранителях с плавкими вставками из одного и того же материала для обеспечения селективного действия необходимо, чтобы номинальные токи плавких вставок последовательно включенных предохранителей отличались друг от друга на две ступени по шкале, т. е. выполнялось условие:

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

Для автоматов с тепловыми расцепителями селективность может быть обеспечена при условии:

$$I_{\text{н.тепл. (2)}} / I_{\text{н.тепл. (1)}} \geq 1,5.$$

При защите участка сети автоматом с электромагнитным расцепителем максимального тока (электромагнитным реле) и тепловым реле селективность будет соблюдена, если

$$I_{\text{ср.эл. м.}} / I_{\text{н.р.(н.нагр.)}} \leq 10.$$

Если на участке сети вышестоящим является предохранитель, а ближайшим — тепловое реле магнитного пускателя, по условиям селективности необходимо, чтобы

$$I_{\text{н.вст.}} / I_{\text{н.р.(н.нагр.)}} \leq 4.$$

Аппараты защиты следует устанавливать во всех местах сети, где сечение жилы проводника уменьшается (по направлению к местам потребления электроэнергии), или в местах, где это необходимо для соблюдения селективности, а также в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии.

3.8. Методика расчета электрических осветительных сетей

При расчете сечения проводов осветительных сетей рабочий ток, как правило, неизвестен. В таких случаях его находят через расчетную мощность электроприемников:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{U_{\text{н}}},$$

где $I_{\text{р}}$ — рабочий ток (А); $U_{\text{н}}$ — номинальное напряжение (В); $P_{\text{р}}$ — расчетная мощность, т. е. фактическая мощность одного или группы электроприемников (Вт). Расчетную мощность определяют по формуле:

$$P_{\text{р}} = k_{\text{с}} \cdot P_{\text{у}},$$

где $P_{\text{у}}$ — установленная мощность, т. е. суммарная мощность всех электроприемников, входящих в данную электроустановку (Вт); $k_{\text{с}}$ — коэффициент спроса, т. е. величина, показывающая, какая часть

установленной мощности фактически расходуется (вследствие не-одновременности работы электроприемников или работы их не на полную мощность).

Коэффициент спроса для различных электроустановок определяют опытным путем. Принятые значения коэффициента спроса для некоторых потребителей электроэнергии приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Коэффициент спроса осветительных нагрузок

Наименование помещений и зданий, в которых прокладываются провода и кабели	Величина коэффициента спроса
Жилые дома, торговые помещения, мелкие мастерские	1
Библиотеки, столовые, административно-канторские здания	0,9
Лечебные, детские, учебные заведения	0,8
Большие производственные объекты	0,95
Средние производственные объекты	0,85
Склады, подвалы	0,6

По найденному рабочему току при проектировании также выбирают параметры аппаратов защиты; при этом следует учитывать назначение или вид сети.

В осветительных сетях пусковой ток $I_{\text{пуск}}$ электроприемников не превышает рабочий ток I_p более чем в 2,5 раза. При защите таких сетей плавкими предохранителями необходимо соблюдать следующее:

1. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя во всех случаях должен быть больше или равен рабочему току, т. е.:

$$I_{\text{н. вст.}} \geq I_p.$$

2. Если осветительные сети не подлежат обязательной защите от токов перегрузки, номинальный ток плавкой вставки предохранителя должен быть меньше или равен длительно допустимому току для выбираемого сечения, т. е.:

$$I_{\text{н. вст.}} \leq I_{\text{доп.}}$$

В силовых сетях пусковые токи электроприемников превышают их номинальные токи в 4–7 раз (например, у асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором). Плавкая вставка должна выдерживать такой пусковой ток. Поэтому в силовых или смешанных сетях номинальный ток плавкой вставки должен быть больше или равен максимальному кратковременному току, протекающему через предохранитель, деленному на коэффициент α , т. е.:

$$I_{\text{н. вст.}} \geq I_{\text{макс.}} / \alpha,$$

где $I_{\text{н. вст.}}$ — расчетная величина номинального тока плавкой вставки (А); $I_{\text{макс.}}$ — наибольшая величина кратковременного тока, протекающего через предохранитель (зависит от вида защищаемой сети) (А); α — коэффициент отстройки от тока перегрузки, зависящий от его типа, режима и условий пуска электродвигателей. Значения коэффициента α приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Коэффициент отстройки от тока перегрузки

Плавкий предохранитель (материал плавкой вставки)	Рекомендуемые значения α	
	легкие условия пуска (холостой ход механизма, продолжительность разбега до 10 с)	тяжелые условия пуска (нагруженный механизм, продолжительность разбега до 40 с)
Инерционный типа ПРС (свинец)	$I_{\text{н. вст.}} \geq I_{\text{р}}$	3,75
Малоинерционный типа ПР (цинк)	3	2
Безынерционный типа ПН (медь)	2,5	1,6
Быстродействующий типа ПНБ (серебро)	$I_{\text{н. вст.}}^2 \cdot t_{\text{пущ.}} > I_{\text{пущ.}}^2 \cdot t_{\text{пущ.}}$	

После определения $I_{\text{н. вст.}}$ выбирают предохранитель с равным или ближайшим большим значением $I_{\text{н. вст.}}$ для данного типа предохранителя.

Необходимое сечение провода или кабеля сети определяют с учетом того, что допустимый длительный ток провода или кабеля должен быть равен рабочему току электроприемников или больше его, т. е.:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{р.}}$$

Рабочий ток нагрузки в осветительных и силовых сетях, как уже отмечалось выше, определяется расчетом.

При выборе номинальных токов тепловых расцепителей $I_{\text{н.тепл.}}$ или нагревательного элемента теплового реле магнитного пускателя $I_{\text{н.нагр.}}$, а также номинальных токов электромагнитных расцепителей $I_{\text{н.эл.маг.}}$ необходимо следовать формуле:

$$\left. \begin{array}{l} I_{\text{н.тепл.}} \\ I_{\text{н.нагр.}} \\ I_{\text{н.эл.маг.}} \end{array} \right\} \geq I_{\text{р.}}$$

Чтобы избежать ложного отключения сети, правильность выбора указанных параметров необходимо проверить по формулам:

$$I_{\text{ср. эл. маг.}} \geq 1,5I_{\text{макс.}};$$

$$I_{\text{ср. тепл.}} \geq 1,25I_{\text{р.}}$$

где $I_{\text{макс.}}$ — максимальный кратковременный ток линии. Выбор сечений проводов и кабелей при защите сетей автоматами производится аналогично описанному выше для случая защиты электрических сетей плавкими предохранителями.

Ряд сетей подлежит обязательной защите от перегрузки. Такой защите подлежат:

- сети внутри помещений с открыто проложенными незащищенными проводами с наружными горючими оболочкой или изоляцией, а также выполненные защищенными проводниками, проводниками, проложенными в трубах, несгораемых строительных конструкциях и т. п.;

- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях в случаях, когда по

условиям технологического процесса или режиму работы может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей;

– сети всех видов во взрывоопасных зонах (за исключением зон В-Іб и В-Іг) независимо от условий технологического процесса или режима работы.

Во всех остальных случаях сети защищаются лишь от токов коротких замыканий.

Сечение сетей, защищаемых от перегрузки, следует выбирать так, чтобы допустимый длительный ток провода или кабеля был равен рабочему току электроприемников или больше его. При этом допустимый длительный ток проводников $I_{\text{доп.}}$ должен быть не менее:

а) 125 % номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий (электромагнитный) расцепитель, для проводников с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

б) 100 % номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный электромагнитный расцепитель, для кабелей с бумажной изоляцией;

в) 100 % номинального тока теплового расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) для проводников всех марок, т. е.:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{н. тепл.}};$$

г) 100 % тока трогания тепловых расцепителей автомата с регулируемой характеристикой для проводов и кабелей с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

д) 100 % номинального тока электродвигателя для проводников ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям в невзрывоопасных помещениях, а также в зонах классов В-Іб и В-Іг;

е) 80 % тока трогания тепловых расцепителей автомата с регулируемой характеристикой для кабелей с бумажной изоляцией.

Согласно п. 3.1.8 ПУЭ электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности. В сетях,

защищаемых только от токов коротких замыканий (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, допускается не выполнять расчетной проверки кратности тока короткого замыкания, если обеспечено условие:

– при защите предохранителями:

$$I_{\text{н. вст}} / I_{\text{доп.}} \leq 3;$$

– при защите автоматами только с максимальными электромагнитными расцепителями (отсечка):

$$I_{\text{ср.эл.маг}} / I_{\text{доп.}} \leq 4,5;$$

– при защите автоматами с тепловыми расцепителями без регулирования тока срабатывания (независимо от наличия или отсутствия отсечки):

$$I_{\text{н. тепл.}} / I_{\text{доп.}} \leq 1;$$

– при защите автоматами с тепловыми расцепителями, имеющими регулировку тока срабатывания (если у автоматов есть электромагнитные расцепители, кратность их тока срабатывания не ограничивается):

$$I_{\text{ср. тепл.}} / I_{\text{доп.}} \leq 1,5.$$

Электрические сети не должны допускать значительной потери напряжения. Для определения фактической потери напряжения ΔU_{ϕ} в процентах пользуются следующей формулой:

$$\Delta U_{\phi} \% = \frac{P_{\text{р}} \cdot l}{c \cdot s},$$

где $P_{\text{р}}$ — расчетная мощность (кВт); l — длина линии (м); s — сечение провода (мм²); c — коэффициент, учитывающий напряжение, систему питания и материал проводов. Значения коэффициента c приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Значение коэффициента s для определения
(по упрощенной формуле) сечений проводников
и потери напряжения в электропроводах

Напря- жение прием- ника, В	Система сети и род тока	Коэффициент s для проводов	
		мед- ных	алюми- ниевых
500	Трехфазная	132	80
660	Трехфазная	231	138
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12,8	7,7
220/127	Трехфазная с нулевым проводом	25,6	15,6
220/127	Двухфазная с нулевым проводом	11,4	6,9
127	Двухпроводная переменного или постоянного тока	4,3	2,6
110	Двухпроводная переменного или постоянного тока	3,2	1,4

Если сеть состоит из нескольких участков с разным сечением проводников и разными нагрузками, потери напряжения определяют на каждом участке отдельно и суммируют. Фактическую потерю напряжения (или ее суммарное значение) сравнивают с допустимой потерей напряжения на рассчитываемом участке сети или с общей допустимой потерей напряжения на всех участках силовой или осветительной сети.

3.9. Примеры расчета электрических осветительных сетей

Задача 3.1. Определить соответствие сечения и марки провода подачи электроэнергии к распределительному щиту учебного помещения. В помещении установлено электрооборудование на действующее напряжение 220 В: 16 ламп мощностью 150 Вт каждая; 2 лампы мощностью по 75 Вт; 8 ламп мощностью по 25 Вт; электронагревательные приборы мощностью 1,5 кВт. Подача электроэнергии к щиту выполнена открытой проводкой проводом АППВ — 2×4 .

Решение:

1) Определяем установленную мощность электрооборудования:

$$P_y = 150 \cdot 16 + 75 \cdot 2 + 25 \cdot 8 + 1500 = 4250 \text{ (Вт)}.$$

2) По таблице 3.4 находим коэффициент спроса:

$$k_c = 0,8.$$

3) Вычисляем расчетную мощность:

$$P_p = 0,8 \cdot 4250 = 3400 \text{ (Вт)}.$$

4) Находим рабочий ток:

$$I_p = 3400 / 220 \approx 15,5 \text{ (А)}.$$

5) По ПУЭ из таблицы 1.3.5 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил алюминиевых проводов, проложенных открыто и соответствующих току 15,5 А.

Принимаем сечение алюминиевых жил равным 2,5 мм².

6) Определяем соответствие сечения и марки провода имеющейся нагрузке.

При $U_n = 220 \text{ В}$ и имеющейся нагрузке *можно использовать провод предусмотренной в проекте марки* с двумя алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм², плоский с полихлорвиниловой изоляцией для открытой прокладки, с изоляцией рассчитанной на 500 В, типа АППВ – 2 × 2,5.

Проектом предусмотрен провод с большим сечением — АППВ – 2 × 4. Следовательно, *запроектированное сечение провода соответствует* имеющейся нагрузке.

Задача 3.2. Определить сечение и указать марку кабеля с медными жилами двухпроводной линии наружного освещения, вдоль которой распределены электроприемники так, как это показано на рис. 3.14, если сечение жил кабеля на всех участках линии одинаково.

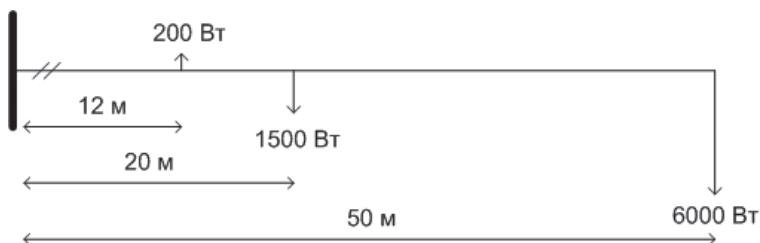


Рис. 3.14. Схема к задаче 3.2

Решение:

1) Снижение напряжения у наиболее удаленных ламп наружного освещения, выполненного светильниками, должно быть не более 5 %.

а) Определим размеры среднего и последнего участков линии:

$$l_c = 20 - 12 = 8 \text{ (м)};$$

$$l_{II} = 50 - 20 = 30 \text{ (м)}.$$

б) Найдем сечение жил кабеля линии:

$$s = \frac{\sum P_{pk} \cdot l_k}{c \cdot \Delta U_{доп} \%} = \frac{7,7 \cdot 12 + 7,5 \cdot 8 + 6 \cdot 30}{12,8 \cdot 5 \%} = 5,19 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

В соответствии со стандартным рядом сечений принимаем $s = 6 \text{ мм}^2$.

2) Для двухпроводной линии наружного освещения подходит кабель **СРБ** с двумя медными жилами сечением 6 мм^2 , с резиновой изоляцией, рассчитанной на напряжение до 500 В, бронированный, с наружным покровом из кабельной пряжи, применяемый для прокладки в земле.

Задача 3.3. Определить соответствие сечения и марки проводов осветительной сети торгового зала универсама предусмотренной нагрузке и соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. В качестве источника питания используется отдельный осветительный трансформатор мощностью

25 кВА. Проводка запроектирована в трубах проводом АПРТО, защита предохранителями типа ПР-2. В универсаме установлено 20 светильников на действующее напряжение 220 В мощностью по 200 Вт каждый. Электрическая схема осветительной сети представлена на рис. 3.15.

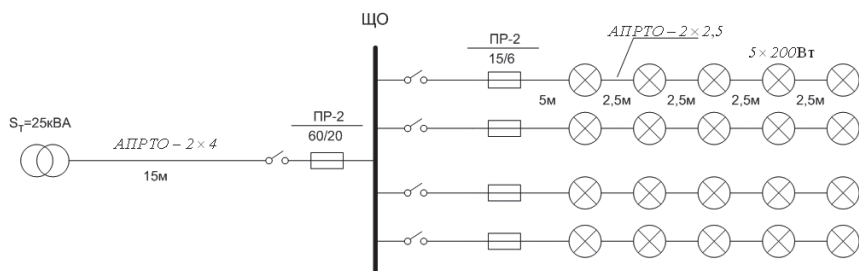


Рис. 3.15. Схема к задаче 3.3

Решение:

1) Определяем класс помещений по условиям окружающей среды.

Согласно п. 1.1.6 ПУЭ помещение является сухим, нормальным.

2) Согласно п. 3.1.8 и п. 3.1.10 ПУЭ осветительные сети в торговых помещениях должны быть защищены от токов короткого замыкания и перегрузки.

3) Определяем установленную мощность всего электрооборудования:

$$P_y = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ (Вт)}.$$

4) По таблице 3.4 находим коэффициент спроса:

$$k_c = 1.$$

5) Вычисляем расчетную мощность всего электрооборудования:

$$P_p = 1 \cdot 4000 = 4000 \text{ (Вт)}.$$

6) Находим рабочий ток всего электрооборудования:

$$I_p = 4000 / 220 \approx 18,2 \text{ (А)}.$$

7) По ПУЭ из таблицы 1.3.5 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил одного двухжильного алюминиевого провода, проложенного в одной трубе, соответствующих току 18,2 А.

При $U_n = 220 \text{ В}$ и имеющейся нагрузке для подачи электроэнергии от трансформатора к щиту освещения *можно использовать провод предусмотренной в проекте марки* с двумя алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм², круглый, с резиновой изоляцией жил, в общей оболочке, для прокладки в стальных трубах, с изоляцией рассчитанной на 500 В, типа АПРТО – 2 × 2,5.

Проектом предусмотрен провод с большим сечением – АПРТО – 2 × 4. Из таблицы 1.3.5 ПУЭ для провода, предусмотренного проектом, допустимый длительный ток $I_d = 25 \text{ А}$, что в 1,37 раза больше рабочего тока всего электрооборудования. Следовательно, *условие защиты от перегрузок выполнено* и запроектированное сечение провода соответствует имеющейся нагрузке.

8) Определяем соответствие номинального тока плавкой вставки общего предохранителя ПР-2 ($I_{\text{ном. вст.}} = 20 \text{ А}$).

Для осветительных сетей номинальный ток плавкой вставки предохранителя во всех случаях должен быть больше или равен рабочему току. Поскольку рабочий ток равен 18,2 А, данное *условие выполняется*.

9) Определяем установленную мощность для отдельной группы электрооборудования, состоящей из четырех одинаковых групп:

$$P_y = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ (Вт)}.$$

10) С учетом найденного ранее коэффициента спроса определяем расчетную мощность одной группы:

$$P_p = 1 \cdot 1000 = 1000 \text{ (Вт)}.$$

11) Находим рабочий ток группы электрооборудования:

$$I_p = 1000 / 220 \approx 4,55 \text{ (А)}.$$

12) По ПУЭ из таблицы 1.3.5 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил одного двухжильного алюминиевого провода, проложенного в одной трубе, соответствующих току 4,55 А.

При $U_n = 220$ В и имеющейся нагрузке для подачи электроэнергии к одной группе освещения *можно использовать провод предусмотренной в проекте марки* с двумя алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм², круглый, с резиновой изоляцией жил, в общей оболочке, для прокладки в стальных трубах, с изоляцией рассчитанной на 500 В, типа АПРТО – 2 × 2,5.

Проектом предусмотрен провод с данным сечением – АПРТО – 2 × 2,5. Из таблицы 1.3.5 ПУЭ для провода предусмотренного проектом допустимый длительный ток $I_d = 19$ А, что в 4,2 раза больше рабочего тока группы электрооборудования. Следовательно, *условие защиты от перегрузок выполнено* и запроектированное сечение провода соответствует имеющейся нагрузке.

13) Определяем соответствие номинального тока плавкой вставки группового предохранителя ПР-2 ($I_{\text{ном. вст.}} = 6$ А):

а) Для осветительных сетей номинальный ток плавкой вставки предохранителя во всех случаях должен быть больше или равен рабочему току. Поскольку рабочий ток равен 4,55 А, данное *условие выполняется*;

б) При защите сетей от перегрузки предохранителями с плавкой вставкой допустимый длительный ток проводников должен быть не менее 125 % номинального тока плавкой вставки. Поскольку

$$\frac{I_d}{I_n} = \frac{19}{4,55} = 4,1 > 1,25,$$

условие защиты от перегрузок выполняется.

14) Проверяем групповой предохранитель ПР-2 (15/6) по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемой группы:

а) Найдем суммарное сопротивление фазного провода, равное сопротивлению провода от трансформатора до щита освещения плюс сопротивление провода одной группы освещения (в распределительных сетях до 1000 В при определении тока короткого замыкания индуктивным сопротивлением можно пренебречь, это приведет к несколько завышенным значениям тока короткого замыкания):

$$r_{\phi} = \Sigma \rho (l / S_{\phi}) = 32 \cdot (0,015 / 4) + 32 \cdot (0,015 / 2,5) = 0,312 \text{ (Ом)};$$

б) Найдем суммарное сопротивление нулевого провода. Учитывая, что нулевой провод точно такой же, как и фазный, его сопротивление также будет равно:

$$r_0 = 0,312 \text{ (Ом)};$$

в) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений: а) для аппаратуры, установленной непосредственно у электроприемников; б) для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; в) для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_{\text{д}} = 0,03 + 0,025 + 0,02 = 0,075 \text{ (Ом)};$$

г) По заданной мощности трансформатора освещения из таблицы 3.3 зададимся его расчетным сопротивлением:

$$z_{\text{т(1)}} = 3,11 \text{ (Ом)};$$

д) Найдем сопротивление цепи короткого замыкания в конце линии:

$$z_{\phi-0} = r_{\phi} + r_0 + r_{\text{д}} + z_{\text{т(1)}} = 0,312 + 0,312 + 0,075 + 3,11 = 3,809 \text{ (Ом)};$$

е) Найдем ток однофазного короткого замыкания в конце линии.

С учетом того, что э.д.с. трансформатора на 5 % больше номинального напряжения, ток однофазного короткого замыкания в конце линии будет:

$$I_{\text{к.з (к) (1)}} = U_{\text{ф}} / z_{(\text{ф-о})} = 230 / 3,809 = 60,38 \text{ (А)};$$

ж) Поскольку

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.вст.}} = 60,38 / 6 = 10,06 > 3,$$

отключение токов короткого замыкания в конце защищаемой линии обеспечено.

15) Проверяем групповой предохранитель ПР-2 (15/6) по предельной отключающей способности токов короткого замыкания в начале защищаемой группы:

а) Найдем сопротивление фазного провода, равное сопротивлению провода от трансформатора до щита освещения (по той же вышеуказанной причине при определении тока короткого замыкания индуктивным сопротивлением провода пренебрегаем):

$$r_{\text{ф}} = \rho (l / S_{\text{ф}}) = 32 \cdot (0,015 / 4) = 0,12 \text{ (Ом)};$$

б) Найдем суммарное сопротивление нулевого провода. Учитывая, что нулевой провод точно такой же, как и фазный, его сопротивление также будет равно:

$$r_0 = 0,12 \text{ (Ом)};$$

в) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_{\text{д}} = 0,025 + 0,02 = 0,045 \text{ (Ом)};$$

з) Найдем сопротивление цепи короткого замыкания в начале линии:

$$z_{\text{ф-0}} = r_{\text{ф}} + r_0 + r_{\text{д}} + z_{\text{т(1)}} = 0,12 + 0,12 + 0,045 + 3,11 = 3,395 \text{ (Ом)};$$

д) Найдем ток однофазного короткого замыкания в начале линии:

$$I_{\text{к.з. (н) (1)}} = U_{\text{ф}} / z_{(\text{ф-0})} = 230 / 3,395 = 67,75 \text{ (А)};$$

ж) Из каталога находим, что для ПР-2 (15) $I_{\text{пр}} = 1200 \text{ А}$. Поскольку

$$I_{\text{пр}} = 1200 \text{ А} > I_{\text{к.з. (н)}} = 67,75 \text{ А},$$

отключение токов короткого замыкания в начале защищаемой линии обеспечено.

16) Проверяем селективность (избирательность) действия аппаратов защиты:

В проекте общий и групповые предохранители одинакового типа. При использовании одинаковых типов аппаратов защиты для обеспечения селективного действия необходимо, чтобы номинальные токи смежных аппаратов отличались друг от друга на две ступени по шкале, т. е.:

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

Так как

$$\frac{I_{\text{ном.вст. (2)}}}{I_{\text{ном вст (1)}}} = \frac{20}{6} = 3,3 > 1,6,$$

селективность действия аппаратов защиты обеспечена.

17) Проверяем выполнение условия допустимой потери напряжения:

а) Определяем падение напряжения на участке от осветительного трансформатора к щиту освещения. Канализация электроэнергии на этом участке осуществляется по двухпроводной линии с алюминиевыми жилами, напряжение электроприемников — 220 В, поэтому по таблице 3.6 принимаем $c = 7,7$. Тогда:

$$\Delta U_{\text{фТО-ЩО}} \% = \frac{P_p \cdot l}{c \cdot s} = \frac{4 \cdot 15}{7,7 \cdot 4} = 1,95 \%;$$

б) Определяем падение напряжения на участке питания от щита освещения одной группы ламп:

$$\Delta U_{\text{фЩО-Л}} \% = \frac{1 \cdot 5 + 0,8 \cdot 2,5 + 0,6 \cdot 2,5 + 0,4 \cdot 2,5 + 0,2 \cdot 2,5}{7,7 \cdot 2,5} = 0,52 \%;$$

в) Определяем фактическую потерю напряжения:

$$\sum \Delta U_{\text{ф}} \% = 1,95 \% + 0,52 \% = 2,47 \%.$$

Фактическая потеря напряжения не превышает 5 %, следовательно, в соответствии с ГОСТ 13109-97 *условие выполнено*.

Задача 3.4. Определить соответствие сечения и марки кабеля осветительной сети цеха приготовления резинового клея предусмотренной нагрузке и соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. В качестве источника питания используется отдельный осветительный трансформатор мощностью 40 кВА. Проводка запроектирована кабелем СРГ на скобах, защита автоматическими выключателями типа АЕ-1031. В цехе установлено 12 светильников на действующее напряжение 220 В мощностью по 150 Вт каждый. Электрическая схема осветительной сети представлена на рис. 3.16.

Решение:

1) Определяем класс зоны.

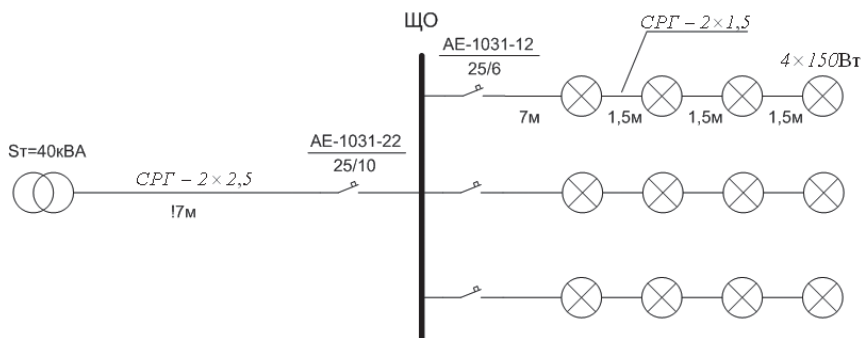


Рис. 3.16. Схема к задаче 3.4

Установки для приготовления резинового клея относятся к взрывоопасным зонам класса В-I.

2) Согласно п. 7.3.93 и п. 7.3.94 ПУЭ во взрывоопасных зонах классов В-I должны применяться провода и кабели с *медными* жилами. Проводники силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В-I должны быть защищены от перегрузок и коротких замыканий.

3) Определяем установленную мощность всего электрооборудования:

$$P_y = 150 \cdot 12 = 1800 \text{ (Вт)}.$$

4) По таблице 3.4 находим коэффициент спроса:

$$k_c = 1.$$

5) Вычисляем расчетную мощность всего электрооборудования:

$$P_p = 1 \cdot 1800 = 1800 \text{ (Вт)}.$$

6) Находим рабочий ток всего электрооборудования:

$$I_p = 1800 / 220 \approx 8,2 \text{ (А)}.$$

7) По ПУЭ из таблицы 1.3.6 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил одного двухжильного кабеля с медными жилами, проложенного в воздухе, соответствующих току 8,2 А.

При $U_n = 220$ В и имеющейся нагрузке для подачи электроэнергии от трансформатора к щиту освещения *можно использовать кабель предусмотренной в проекте марки с двумя медными жилами сечением 1,5 мм², резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке, голый, для прокладки внутри любых помещений по стенам, с изоляцией, рассчитанной на 500 В, типа СРГ – 2 × 1,5.*

Проектом предусмотрен кабель с большим сечением — СРГ – 2 × 2,5. Из таблицы 1.3.6 ПУЭ для кабеля предусмотренного проектом допустимый длительный ток $I_d = 27$ А, что в 3,3 раза больше рабочего тока всего электрооборудования. Следовательно, *условие защиты от перегрузок выполнено, и запроектированное сечение кабеля соответствует имеющейся нагрузке.*

8) Определяем соответствие номинального тока теплового расцепителя общего автомата АЕ-1031-22 ($I_{\text{ном. тепл.}} = 10$ А, $I_{\text{ср. тепл.}} = 13,5$ А):

а) Номинальный ток теплового расцепителя $I_{\text{н. тепл.}}$ должен быть больше или равен рабочему току. Поскольку рабочий ток равен 8,2 А, данное *условие выполняется;*

б) Чтобы избежать ложного отключения сети, правильность выбора номинального тока теплового расцепителя необходимо проверить по формуле:

$$I_{\text{ср. тепл.}} \geq 1,25I_p.$$

Поскольку

$$I_{\text{ср. тепл.}} = 13,5 \text{ А} > 1,25I_p = 1,25 \cdot 8,2 = 10,25 \text{ А},$$

ложного отключения сети быть не должно.

9) Определяем установленную мощность для отдельной группы электрооборудования, состоящей из трех одинаковых групп:

$$P_y = 150 \cdot 4 = 600 \text{ (Вт)}.$$

10) С учетом найденного ранее коэффициента спроса определяем расчетную мощность одной группы:

$$P_p = 1 \cdot 600 = 600 \text{ (Вт)}.$$

11) Находим рабочий ток группы электрооборудования:

$$I_p = 600 / 220 \approx 2,73 \text{ (А)}.$$

12) По ПУЭ из таблицы 1.3.6 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил одного двухжильного кабеля с медными жилами, проложенного в воздухе, соответствующих току 2,73 А.

При $U_n = 220 \text{ В}$ и имеющейся нагрузке для подачи электроэнергии к одной группе освещения *можно использовать кабель предусмотренной в проекте марки с двумя медными жилами сечением $1,5 \text{ мм}^2$, резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке, голый, для прокладки внутри любых помещений по стенам, с изоляцией рассчитанной на 500 В, типа СРГ – $2 \times 1,5$.*

Проектом предусмотрен кабель с данным сечением — СРГ – $2 \times 1,5$. Из таблицы 1.3.6 ПУЭ для кабеля, предусмотренного проектом, допустимый длительный ток $I_d = 19 \text{ А}$, что в 6,9 раза больше рабочего тока группы электрооборудования. Следовательно, *условие защиты от перегрузок выполнено*, и запроектированное сечение кабеля соответствует имеющейся нагрузке.

13) Определяем соответствие номинального тока теплового расцепителя группового автомата АЕ-1031-12 ($I_{\text{ном. тепл.}} = 6 \text{ А}$, $I_{\text{ср. тепл.}} = 8,1 \text{ А}$):

а) Номинальный ток теплового расцепителя $I_{\text{н.тепл.}}$ должен быть больше или равен рабочему току. Поскольку рабочий ток равен 2,73 А, данное условие выполняется;

б) Чтобы избежать ложного отключения сети, правильность выбора номинального тока теплового расцепителя необходимо проверить по формуле:

$$I_{\text{ср. тепл.}} \geq 1,25 I_p.$$

Поскольку

$$I_{\text{ср. тепл.}} = 8,1 \text{ A} > 1,25I_p = 1,25 \cdot 2,73 = 3,41 \text{ A},$$

ложного отключения сети быть не должно;

в) При защите сетей от перегрузки автоматическими выключателями с нерегулируемой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) допустимый длительный ток проводников всех марок должен быть не менее 100 % номинального тока теплового расцепителя. Поскольку

$$I_{\text{доп.}} = 19 \text{ A} > I_{\text{н. тепл.}} = 6 \text{ A},$$

условие защиты от перегрузок выполняется.

14) Проверяем групповой автомат АЕ-1031-12 по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемой группы:

а) Найдём суммарное сопротивление фазного провода, равное сопротивлению провода от трансформатора до щита освещения плюс сопротивление провода одной группы освещения (в распределительных сетях до 1000 В при определении тока короткого замыкания индуктивным сопротивлением можно пренебречь, это приведет к несколько завышенным значениям тока короткого замыкания):

$$r_{\phi} = \sum \rho (l / S_{\phi}) = 19 \cdot (0,017 / 2,5) + 19 \cdot (0,0115 / 1,5) = 0,275 \text{ (Ом)};$$

б) Найдём суммарное сопротивление нулевого провода. Учитывая, что нулевой провод точно такой же, как и фазный, его сопротивление также будет равно:

$$r_0 = 0,275 \text{ (Ом)};$$

в) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений: а) для аппаратуры, установленной

непосредственно у электроприемников; б) для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; в) для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_d = 0,03 + 0,025 + 0,02 = 0,075 \text{ (Ом)};$$

г) По заданной мощности трансформатора освещения из таблицы 3.3 зададимся его расчетным сопротивлением:

$$z_{т(1)} = 1,949 \text{ (Ом)};$$

д) Найдем сопротивление цепи короткого замыкания в конце линии:

$$z_{ф-0} = r_{ф} + r_0 + r_d + z_{т(1)} = 0,275 + 0,275 + 0,075 + 1,949 = 2,574 \text{ (Ом)};$$

е) Найдем ток однофазного короткого замыкания в конце линии.

С учетом того, что э.д.с. трансформатора на 5 % больше номинального напряжения, ток однофазного короткого замыкания в конце линии будет:

$$I_{к.з (к) (1)} = U_{ф} / z_{(ф-0)} = 230 / 2,574 = 89,36 \text{ (А)};$$

ж) Поскольку

$$I_{к.з (к)} / I_{н.тепл} = 89,36 / 6 = 14,89 > 6,$$

отключение токов короткого замыкания в конце защищаемой линии обеспечено.

15) Проверяем групповой автомат АЕ-1031-12 по предельной отключающей способности токов короткого замыкания в начале защищаемой группы:

а) Найдем сопротивление фазного провода, равное сопротивлению провода от трансформатора до щита освещения (по той же вышеуказанной причине при определении тока короткого замыкания индуктивным сопротивлением провода пренебрегаем):

$$r_{\phi} = \rho (l / S_{\phi}) = 19 \cdot (0,017 / 2,5) = 0,129 \text{ (Ом)};$$

б) Найдем суммарное сопротивление нулевого провода. Учитывая, что нулевой провод точно такой же, как и фазный, его сопротивление также будет равно:

$$r_0 = 0,129 \text{ (Ом)};$$

в) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_d = 0,025 + 0,02 = 0,045 \text{ (Ом)};$$

г) Найдем сопротивление цепи короткого замыкания в начале линии:

$$z_{\phi-0} = r_{\phi} + r_0 + r_d + z_{т(1)} = 0,129 + 0,129 + 0,045 + 1,949 = 2,252 \text{ (Ом)};$$

д) Найдем ток однофазного короткого замыкания в начале линии:

$$I_{к.з. (н) (1)} = U_{\phi} / z_{(\phi-0)} = 230 / 2,252 = 102,13 \text{ (А)};$$

е) Из каталога находим, что для АЕ-1031-12 $I_{пр} = 1000 \text{ А}$. Поскольку

$$I_{пр} = 1000 \text{ А} > I_{к.з. (н)} = 102,13 \text{ А},$$

отключение токов короткого замыкания в начале защищаемой линии обеспечено.

16) Проверяем селективность (избирательность) действия аппаратов защиты.

Для автоматов с тепловыми расцепителями селективность может быть обеспечена при условии:

$$I_{\text{ном.тепл. (2)}} / I_{\text{ном.тепл. (1)}} \geq 1,5.$$

Так как

$$\frac{I_{\text{ном.тепл. (2)}}}{I_{\text{ном.тепл. (1)}}} = \frac{10}{6} = 1,67 > 1,5,$$

селективность действия аппаратов защиты обеспечена.

17) Проверяем выполнение условия допустимой потери напряжения:

а) Определяем падение напряжения на участке от осветительного трансформатора к щиту освещения. Канализация электроэнергии на этом участке осуществляется по двухпроводной линии с медными жилами, напряжение электроприемников 220 В, поэтому по таблице 3.6 принимаем $c = 12,8$. Тогда

$$\Delta U_{\text{фТО-ЩО}} \% = \frac{P_p \cdot l}{c \cdot s} = \frac{1,8 \cdot 17}{12,8 \cdot 2,5} = 0,96 \%;$$

б) Определяем падение напряжения на участке питания от щита освещения одной группы ламп:

$$\Delta U_{\text{фЩО-ЛГ}} \% = \frac{0,6 \cdot 7 + 0,45 \cdot 1,5 + 0,3 \cdot 1,5 + 0,15 \cdot 1,5}{12,8 \cdot 1,5} = 0,29 \%;$$

в) Определяем фактическую потерю напряжения:

$$\sum \Delta U_{\text{ф}} \% = 0,96 \% + 0,29 \% = 1,25 \%.$$

Фактическая потеря напряжения не превышает 5 %, следовательно, в соответствии с ГОСТ 13109-97 *условие выполнено.*

3.10. Методика расчета электрических силовых сетей

При расчете сечения проводов силовых сетей нагрузка проводов, питающих отдельный электродвигатель, принимается в соответствии с его номинальными данными.

Для определения общей потребляемой мощности ряда различных приемников электроэнергии, подключенных к данной сети, необходимо отдельно сложить активные и реактивные составляющие мощности, потребляемой отдельными приемниками (или группами аналогичных приемников), с учетом соответствующих значений коэффициента спроса. Тогда общая потребляемая мощность (полная мощность) будет:

$$S = \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} \text{ (кВА)},$$

а общий коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{\sum P}{S}.$$

Соответствующий рабочий ток для трехфазной системы сети будет определяться как:

$$\sum I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}.$$

Значения коэффициента спроса для силовых потребителей жилых и гражданских зданий приведены в таблице 3.7 и таблице 3.8.

При выполнении расчета сечения проводов силовых цепей рабочий ток электродвигателя определяют как:

$$I_p = I_{\text{н. дв.}} \cdot k_3,$$

где $I_{\text{н. дв.}}$ — номинальный ток электродвигателя; k_3 — коэффициент загрузки электродвигателя, т. е. отношение действительной загрузки электродвигателя к номинальной (при отсутствии сведений о загрузке электродвигателей и для ответвлений к одному электродвигателю принимают $k_3 = 1$).

Таблица 3.7

Значения коэффициента спроса (k_c) и коэффициента мощности ($\cos \varphi$) для силовых потребителей в жилых, административных и общественных зданиях

Наименование механизмов	Коэффициент спроса, k_c	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	Наименование механизмов	Коэффициент спроса, k_c	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
Насосы	0,7	0,8	Лифты	0,4–0,1	0,7–0,8
Дымососы	0,7	0,88	Холодильники	0,4	0,8
Вентиляторы	0,6	0,85	Мелкие электроприборы	0,2	0,75

Примечания:

1. При числе лифтов в здании 2; 3–4; 5–6 и более 6 соответственно k_c равен 1; 0,7; 0,6 и 0,4, а $\cos \varphi$ равен 0,7; 0,6; 0,6 и 0,6.
2. Установленная мощность электродвигателей лифтов приводится к продолжительности включения ПВ = 1 по формуле $P_p = P_n \cdot k_{\text{вк. гр.}} \cdot \text{ПВ}_n$, где P_p – расчетная нагрузка (кВт); P_n – номинальная мощность двигателя (кВт); $k_{\text{вк. гр.}}$ – коэффициент включения группы приемников; ПВ_n – номинальная продолжительность включения двигателя

Таблица 3.8

Значения коэффициента спроса (k_c) для силовых установок мелких мастерских

Наименование мастерской	Число установленных электродвигателей												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
Механическая мастерская	1	0,9	0,8	0,7	0,61	0,55	0,5	0,47	0,44	0,35	0,31	0,28	0,26
Деревообделочная мастерская	1	0,85	0,75	0,65	0,55	0,5	0,45	0,42	0,4	0,32	0,28	0,25	0,23

Номинальный ток электродвигателя находят по формуле:

$$I_{\text{н.дв.}} = \frac{P_{\text{н.дв.}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi},$$

где $P_{\text{н.дв.}}$ — номинальная мощность (на валу) электродвигателя (кВт); η — коэффициент полезного действия двигателя ($0,6 \div 0,94$); $\cos \varphi$ — коэффициент мощности электродвигателя.

Пусковой ток электродвигателя находят как:

$$I_{\text{пуск.}} = I_{\text{н. дв.}} \cdot k_{\text{п}},$$

где $k_{\text{п}}$ — кратность пускового тока (как уже отмечалось ранее, для электродвигателей с короткозамкнутым ротором значение $k_{\text{п}} = 4 \div 7$).

Для сетей питающих n электродвигателей

$$I_{\text{макс.}} = \sum I_{\text{P}(n-1)} k_{\text{o}} + I_{\text{пуск.}},$$

где $\sum I_{\text{P}(n-1)}$ — сумма рабочих токов всех электродвигателей без одного, имеющего наибольший пусковой ток; k_{o} — коэффициент одновременности, учитывающий присоединенную мощность фактически работающих электродвигателей; $I_{\text{пуск.}}$ — пусковой ток электродвигателя, имеющий наибольшую его величину.

При расчете ответвлений с короткозамкнутым электродвигателем во взрывоопасных зонах (за исключением зон В-Іб и В-Іг) рабочий ток электродвигателя определяют по формуле:

$$I_{\text{р}} = 1,25 \cdot I_{\text{н. дв.}}.$$

3.11. Примеры расчета электрических силовых сетей

Задача 3.5. Определить соответствие сечения и марки кабелей подачи электроэнергии к электродвигателям вентиляторов помещений аэропорта предусмотренной нагрузке, а также соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. Условия пуска электродвигателей легкие, напряжение питания $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$, $k_{\text{п}} = 4$, $\eta = 0,76$, $\cos \varphi = 0,8$. Электродвигатель управляется магнитным пускателем ПМЕ-222 с тепловым реле ТРН-25 и защищается плавким предохранителем ПР-2. Подача электроэнергии к электродвигателю выполнена от встроенного трансформатора кабелем АВВГ на скобах. Температура окружающей среды $+25 \text{ }^{\circ}\text{С}$. Электрическая схема силовой сети представлена на рис. 3.17.

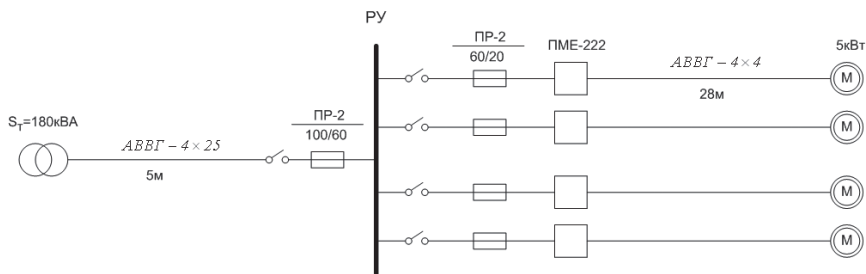


Рис. 3.17. Схема к задаче 3.5

Решение:

1) Определяем класс помещений по условиям окружающей среды.

Согласно п. 1.1.6 ПУЭ помещение является сухим, нормальным.

2) Согласно п. 3.1.8 ПУЭ электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания.

3) Определяем установленную мощность всех электродвигателей.

Учитывая, что все электродвигатели одинаковы, т. е. η и $\cos \varphi$ для всех электродвигателей имеют одни и те же соответствующие значения, установленная мощность всех электродвигателей:

$$\Sigma P_y = 5 \cdot 4 = 20 \text{ (кВт)}.$$

4) По таблице 3.7 находим коэффициент спроса:

$$k_c = 0,6.$$

5) Вычисляем расчетную мощность всего электрооборудования:

$$\Sigma P_p = 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ (кВт)}.$$

6) Находим рабочий ток всего электрооборудования:

$$\Sigma I_p = \frac{\Sigma P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{12000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 \cdot 0,8} = 29,99 \text{ (А)}.$$

7) По ПУЭ из таблицы 1.3.7 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил одного трехжильного алюминиевого кабеля, проложенного в воздухе, соответствующего току 29,99 А.

При $U_{\text{л}} = 380$ В и имеющейся нагрузке для подачи электроэнергии от трансформатора к силовому распределительному щиту *можно использовать кабель предусмотренной в проекте марки* с четырьмя алюминиевыми жилами сечением 10 мм^2 , с полихлорвиниловой изоляцией, в полихлорвиниловой оболочке, без наружных покрытий (голый), с изоляцией, рассчитанной на 660 В, предназначенный для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам, типа АВВГ – 4×10 .

Проектом предусмотрен кабель с большим сечением – АВВГ – 4×25 . Из таблицы 1.3.7 ПУЭ для кабеля, предусмотренного проектом, допустимый длительный ток $I_{\text{д}} = 0,92 \cdot 75 = 69$ А, что в 2,3 раза больше рабочего тока всего электрооборудования. Следовательно, *кабель предусмотренной в проекте марки можно использовать, а за проектированное сечение кабеля соответствует имеющейся нагрузке.*

8) Определяем номинальный ток электродвигателя ответвления:

$$I_{\text{н.дв.}} = \frac{P_{\text{н.дв.}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 \cdot 0,8} = 12,5 \text{ (А)}.$$

9) Определяем рабочий ток ответвления электрической сети к электродвигателю:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{н.дв.}} \cdot k_{\text{з}} = 12,5 \cdot 1 = 12,5 \text{ (А)}.$$

10) По ПУЭ из таблицы 1.3.7 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил алюминиевых кабелей с четырьмя жилами, проложенных в воздухе и соответствующих току 12,5 А.

Принимаем сечение алюминиевых жил равным $2,5 \text{ мм}^2$.

11) Определяем соответствие сечения и марки кабеля ответвления имеющейся нагрузке.

При $U_{\text{н}} = 380$ В и имеющейся нагрузке можно использовать кабель с четырьмя алюминиевыми жилами сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$,

с изоляцией, рассчитанной на 660 В, предназначенный для прокладки внутри помещений.

Проектом предусмотрен кабель с бóльшим сечением — АВВГ — 4×4 с полихлорвиниловой изоляцией, в полихлорвиниловой оболочке, без наружных покровов (голый), с изоляцией, рассчитанной на 660 В, предназначенный для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам.

Из таблицы 1.3.7 ПУЭ для кабеля, предусмотренного проектом, допустимый длительный ток $I_{\text{д}} = 0,92 \cdot 27 = 24,84$ А, что в 1,99 раза больше рабочего тока электродвигателя. Следовательно, *кабель предусмотренной в проекте марки можно использовать, а запроектированное сечение кабеля соответствует имеющейся нагрузке.*

12) Определяем соответствие теплового реле ТРН-25 магнитного пускателя ПМЕ-222 условиям защиты электродвигателя и проводников отведения от токов перегрузки:

$$I_{\text{н.р.}} \geq I_{\text{н.нагр.}} = I_{\text{н.дв.}} \text{ (А)}.$$

По каталогу задаемся током нулевой уставки теплового реле:

$$I_0 = 12,5 \text{ (А)}.$$

Определяем деление шкалы тока уставок теплового реле (без температурной поправки на температуру окружающей среды), на которое необходимо установить поводок регулятора:

$$\pm N_1 = \frac{I_{\text{н.дв.}} - I_0}{c \cdot I_0} = \frac{12,5 - 12,5}{0,05 \cdot 12,5} = 0.$$

Определяем поправку на температуру окружающей среды в пределах делений шкалы:

$$-N_2 = \frac{t_{\text{окр.}}^{\circ} - 30^{\circ}}{10^{\circ}} = \frac{25 - 30}{10} = -0,5.$$

Определяем результирующее расчетное деление шкалы тока уставок теплового реле:

$$\pm N = (\pm N_1) + (-N_2) = (0) + (-0,5) = -0,5 \text{ (округляем до 0)}.$$

Следовательно, пуск регулятора реле необходимо установить на делении шкалы 0.

13) Определяем соответствие номинального тока плавкой вставки предохранителя ПР-2 (малоинерционный, 60/20) ответвления:

а) Находим пусковой ток двигателя:

$$I_{\text{пуск.}} = I_{\text{макс.}} = I_{\text{н.дв.}} \cdot k_{\text{п}} = 12,5 \cdot 4 = 50 \text{ (А)};$$

б) По таблице 3.5 находим коэффициент отстройки предохранителя от тока перегрузки:

$$\alpha = 3,$$

тогда

$$I_{\text{н.вст.}} \geq \frac{I_{\text{макс.}}}{\alpha} = \frac{50}{3} = 16,67 \text{ (А)}.$$

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя ответвления больше полученного значения, следовательно, *условие выполняется*.

14) Определяем соответствие номинального тока плавкой вставки предохранителя ПР-2 (малоинерционный, 100/60) общего:

а) Находим максимальный ток всех электродвигателей:

$$I_{\text{макс.}} = \sum I_{\text{P}(n-1)} k_{\text{o}} + I_{\text{пуск.}} = (29,99 - 12,5) \cdot 1 + 50 = 67,49 \text{ (А)};$$

б) По таблице 3.5 находим коэффициент отстройки предохранителя от тока перегрузки:

$$\alpha = 3,$$

тогда

$$I_{\text{н.вст.}} \geq \frac{I_{\text{макс.}}}{\alpha} = \frac{67,49}{3} = 22,5 \text{ (А)}.$$

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя ответвления больше полученного значения, следовательно, *условие выполняется*.

15) Проверяем предохранитель ПР-2 (60/20) ответвления по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемого участка:

а) Найдем суммарное сопротивление фазного проводника, равное сопротивлению жилы кабеля от трансформатора до силового распределительного щита плюс сопротивление жилы кабеля ответвления (в распределительных сетях до 1000 В при определении тока короткого замыкания индуктивным сопротивлением можно пренебречь, это приведет к несколько завышенным значениям тока короткого замыкания):

$$r_{\phi} = \Sigma r (l / S_{\phi}) = 32 \cdot (0,005 / 25) + 32 \cdot (0,028 / 4) = 0,23 \text{ (Ом)};$$

б) Найдем суммарное сопротивление нулевого проводника. Учитывая, что нулевой проводник точно такой же, как и фазный, его сопротивление также будет равно:

$$r_0 = 0,23 \text{ (Ом)};$$

в) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений: а) для аппаратуры, установленной непосредственно у электроприемников; б) для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; в) для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_{\text{д}} = 0,03 + 0,025 + 0,02 = 0,075 \text{ (Ом)};$$

г) По заданной мощности трансформатора из таблицы 3.3 зададимся его расчетным сопротивлением:

$$z_{\text{т}(1)} = 0,487 \text{ (Ом)};$$

д) Найдем сопротивление цепи короткого замыкания в конце линии:

$$z_{\phi-0} = r_{\phi} + r_0 + r_d + z_{T(1)} = 0,23 + 0,23 + 0,075 + 0,487 = 1,022 \text{ (Ом)};$$

е) Найдем ток однофазного короткого замыкания в конце линии.

С учетом того, что э.д.с. трансформатора на 5 % больше номинального напряжения ток однофазного короткого замыкания в конце линии будет:

$$I_{\text{к.з (к) (1)}} = U_{\phi} / z_{(\phi-0)} = 230 / 1,022 = 225,05 \text{ (А)};$$

ж) Поскольку

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.вст.}} = 225,05 / 20 = 11,25 > 3,$$

отключение токов короткого замыкания в конце защищаемой линии обеспечено.

16) Проверяем предохранитель ПР-2 (60/20) ответвления по предельной отключающей способности токов короткого замыкания в начале защищаемого участка:

а) Найдем сопротивление фазы от трансформатора до силового распределительного щита:

– активное сопротивление кабеля:

$$r_{\phi} = \rho (l / S_{\phi}) = 32 \cdot (0,005 / 25) = 0,0064 \text{ (Ом)};$$

– индуктивное сопротивление кабеля:

$$x_{\phi} = al = 0,07 \cdot 0,005 = 0,00035 \text{ (Ом)};$$

– активное сопротивление фазы питающего трансформатора:

$$r_T = c / S_T = 3,5 / 180 = 0,01944 \text{ (Ом)};$$

– индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора:

$$x_{\text{т}} = dr_{\text{т}} = 2 \cdot 0,01944 = 0,03888 \text{ (Ом)};$$

б) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений: а) для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; б) для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_{\text{д}} = 0,025 + 0,02 = 0,045 \text{ (Ом)};$$

в) Найдем сопротивление фазы:

$$z_{\text{ф}} = \sqrt{(\sum r_{\text{ф}} + \sum r_{\text{д}} + \sum r_{\text{т}})^2 + (\sum x_{\text{ф}} + \sum x_{\text{т}})^2} = \\ = \sqrt{(0,0064 + 0,045 + 0,01944)^2 + (0,00035 + 0,03888)^2} = 0,081 \text{ (Ом)};$$

г) Найдем ток трехфазного короткого замыкания в начале линии:

$$I_{\text{к.з. (н.) (3)}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\text{ф}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,081} = 2851,11 \text{ (А)};$$

д) Из каталога находим, что для ПР-2 (60) габарита II $I_{\text{пр}} = 4500 \text{ А}$. Поскольку

$$I_{\text{пр}} = 4500 \text{ А} > I_{\text{к.з. (н)}} = 2851,11 \text{ А},$$

отключение токов короткого замыкания в начале защищаемой линии при использовании предохранителя габарита II обеспечено.

17) Проверяем селективность (избирательность) действия аппаратов защиты.

В проекте общий предохранитель и предохранители ответвлений одинакового типа. При использовании одинаковых типов аппаратов защиты для обеспечения селективного действия необходимо, чтобы номинальные токи смежных аппаратов отличались друг от друга на две ступени по шкале, т. е.:

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

Так как

$$\frac{I_{\text{НОМ.ВСТ. (2)}}}{I_{\text{НОМ.ВСТ. (1)}}} = \frac{60}{20} = 3 > 1,6,$$

селективность действия аппаратов защиты обеспечена.

18) Проверяем выполнение условия допустимой потери напряжения.

а) Определяем падение напряжения на участке от трансформатора к силовому распределительному щиту. Канализация электроэнергии на этом участке осуществляется по трехфазной линии с нулевым проводом кабелем с алюминиевыми жилами, напряжение электроприемников 380 В, поэтому по таблице 3.6 принимаем $c = 46$. Тогда:

$$\Delta U_{\text{Т-РУ}} \% = \frac{\sum P_p \cdot l}{c \cdot S} = \frac{20 \cdot 5}{46 \cdot 25} = 0,09 \%;$$

б) Определяем падение напряжения на участке питания от силового распределительного щита до электродвигателя:

$$\Delta U_{\text{РУ-ЭД}} \% = \frac{5 \cdot 28}{46 \cdot 4} = 0,76 \%;$$

б) Определяем фактическую потерю напряжения:

$$\sum \Delta U_{\text{ф}} \% = 0,09 \% + 0,76 \% = 0,85 \%.$$

Фактическая потеря напряжения не превышает 5 %, следовательно, в соответствии с ГОСТ 13109-97 *условие выполнено.*

Задача 3.6. Определить соответствие сечения и марки кабеля силовой сети столярного цеха предусмотренной нагрузке и соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности

защиты. В качестве источника питания используется пристроенный трансформатор мощностью 160 кВА. Проводка запроектирована кабелем АНРГ в каналах. Электродвигатель управляется магнитным пускателем ПА-422 с тепловым реле ТРП-60, защита от короткого замыкания осуществляется автоматическими выключателями типа АЕ-2056. В цехе установлено 2 вентилятора на напряжение 380 В мощностью по 20 кВт каждый, $k_{\pi} = 4,5$, $\eta = 0,85$, $\cos \varphi = 0,9$. Условия пуска легкие. Температура окружающей среды $+25^{\circ}\text{C}$. Электрическая схема силовой сети представлена на рис. 3.18.

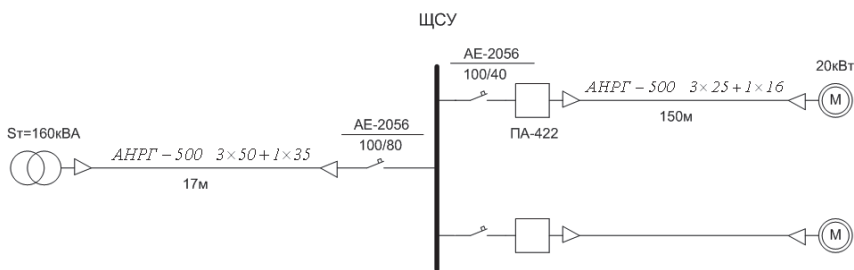


Рис. 3.18. Схема к задаче 3.6

Решение:

1) Определяем класс помещений по условиям окружающей среды.

Согласно п. 7.4.4 ПУЭ помещение относится к пожароопасным зонам класса П-П.

2) Согласно п. 7.4.36 ПУЭ 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. Согласно п. 3.1.8 ПУЭ электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания.

3) Определяем установленную мощность электродвигателей.

Учитывая, что электродвигатели одинаковы, т. е. η и $\cos \varphi$ для электродвигателей имеют одни и те же соответствующие значения, установленная мощность электродвигателей:

$$\Sigma P_y = 20 \cdot 2 = 40 \text{ (кВт)}.$$

4) По таблице 3.8 находим коэффициент спроса:

$$k_c = 1.$$

5) Вычисляем расчетную мощность всего электрооборудования:

$$\Sigma P_p = 1 \cdot 40 = 40 \text{ (кВт)}.$$

6) Находим рабочий ток всего электрооборудования:

$$\Sigma I_p = \frac{\Sigma P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 79,44 \text{ (А)}.$$

7) По ПУЭ из таблицы 1.3.7 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил одного трехжильного алюминиевого кабеля, проложенного в воздухе, соответствующего току 79,44 А.

При $U_n = 380$ В и имеющейся нагрузке для подачи электроэнергии от трансформатора к силовому распределительному щиту *можно использовать кабель предусмотренной в проекте марки* с четырьмя алюминиевыми жилами сечением 35 мм², с нейтральной оболочкой, резиновой изоляцией, без наружных покрытий (голый), с изоляцией, рассчитанной на 500 В, предназначенный для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам, типа АНРГ – 500 3 × 35 + 1 × 25.

Проектом предусмотрен кабель – АНРГ – 500 3 × 50 + 1 × 35. Из таблицы 1.3.7 ПУЭ для кабеля, предусмотренного проектом, допустимый длительный ток $I_d = 0,92 \cdot 110 = 101,2$ А, что в 1,27 раза больше рабочего тока всего электрооборудования. Следовательно, *кабель предусмотренной в проекте марки можно использовать, а запроектированное сечение кабеля соответствует имеющейся нагрузке.*

8) Определяем номинальный ток электродвигателя ответвления:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_{н.дв.} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 39,7 \text{ (А)}.$$

9) Определяем рабочий ток ответвления электрической сети к электродвигателю:

$$I_p = I_{н.дв.} \cdot k_z = 39,7 \cdot 1 = 39,7 \text{ (А)}.$$

10) По ПУЭ из таблицы 1.3.7 с учетом стандартного ряда сечений определяем сечение жил алюминиевых кабелей с четырьмя жилами, проложенных в воздухе и соответствующих току 39,7 А.

Принимаем сечение алюминиевых жил равным 16 мм².

11) Определяем соответствие сечения и марки кабеля ответвления имеющейся нагрузке.

При $U_n = 380$ В и имеющейся нагрузке можно использовать кабель с четырьмя алюминиевыми жилами сечением не менее 16 мм², с изоляцией, рассчитанной на 500 В, предназначенный для прокладки внутри помещений.

Проектом предусмотрен кабель с большим сечением — АНРГ — 3 × 25 + 1 × 16 с найритовой оболочкой, резиновой изоляцией, без наружных покровов (голый), с изоляцией, рассчитанной на 500 В, предназначенный для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам.

Из таблицы 1.3.7 ПУЭ для кабеля, предусмотренного проектом, допустимый длительный ток $I_d = 0,92 \cdot 75 = 69$ А, что в 1,7 раза больше рабочего тока электродвигателя. Следовательно, *кабель предусмотренной в проекте марки можно использовать, а запроектированное сечение кабеля соответствует имеющейся нагрузке.*

12) Определяем соответствие теплового реле ТРП-60 магнитного пускателя ПА-422 условиям защиты электродвигателя и проводников ответвления от токов перегрузки:

$$I_{н.р.} \geq I_{н.нагр.} = I_{н.дв.} = 39,7 \text{ (А)}.$$

По каталогу задаемся током нулевой уставки теплового реле:

$$I_0 = 40 \text{ (А)}.$$

Определяем деление шкалы тока уставок теплового реле (без температурной поправки на температуру окружающей среды), на которое необходимо установить поводок регулятора:

$$\pm N_1 = \frac{I_{\text{н.дв.}} - I_0}{c \cdot I_0} = \frac{39,7 - 40}{0,055 \cdot 40} = -0,14.$$

Определяем поправку на температуру окружающей среды в пределах делений шкалы:

$$-N_2 = \frac{t_{\text{окр.}} - 30}{10} = \frac{25 - 30}{10} = -0,5.$$

Определяем результирующее расчетное деление шкалы тока уставок теплового реле:

$$\pm N = (\pm N_1) + (-N_2) = (-0,14) + (-0,5) = -0,6 \text{ (округляем до } 0 \text{)}.$$

Следовательно, поводок регулятора реле необходимо установить на делении шкалы 0.

13) Определяем соответствие номинального тока теплового и электромагнитного максимального расцепителя автомата АЕ-2056 (100/40) ($I_{\text{н. эл. м.}} = 40 \text{ А}$, $I_{\text{н. тепл.}} = 40 \text{ А}$, $I_{\text{ср. эл. м.}} = 480 \text{ А}$, $I_{\text{ср. тепл.}} = 50 \text{ А}$) ответвления:

а) Номинальный ток теплового $I_{\text{н. тепл.}}$ и электромагнитного максимального расцепителя $I_{\text{н. эл. м.}}$ должен быть больше или равен рабочему току. Поскольку рабочий ток равен 39,7 А, данное *условие выполняется*;

б) Чтобы избежать ложного отключения сети, правильность выбора номинального тока электромагнитного максимального расцепителя необходимо проверить по формуле:

$$I_{\text{ср. эл. маг.}} \geq 1,5 I_{\text{макс.}},$$

а теплового расцепителя — по формуле:

$$I_{\text{ср. тепл.}} \geq 1,25 I_{\text{р.}}$$

Поскольку пусковой ток двигателя:

$$I_{\text{пуск.}} = I_{\text{макс.}} = I_{\text{н.дв.}} \cdot k_{\text{п}} = 39,7 \cdot 4,5 = 178,65 \text{ (A)}$$

и

$$I_{\text{ср. эл. маг.}} = 480 > 1,5 I_{\text{макс.}} = 1,5 \cdot 178,65 = 267,98 \text{ (A)},$$

ложного отключения электромагнитного расцепителя быть не должно.

Поскольку рабочий ток отсечения к двигателю:

$$I_{\text{р}} = 39,7 \text{ (A)}$$

и

$$I_{\text{ср. тепл.}} = 50 > 1,25 I_{\text{р}} = 49,63 \text{ (A)},$$

ложного отключения теплового расцепителя быть не должно.

14) Определяем соответствие номинального тока теплового и электромагнитного максимального расцепителя общего автомата АЕ-2056 (100/80) ($I_{\text{н. эл. м.}} = 80 \text{ A}$, $I_{\text{н. тепл.}} = 80 \text{ (A)}$, $I_{\text{ср. эл. м.}} = 960 \text{ A}$, $I_{\text{ср. тепл.}} = 100$):

а) Номинальный ток теплового $I_{\text{н. тепл.}}$ и электромагнитного максимального расцепителя $I_{\text{н. эл. м.}}$ должен быть больше или равен рабочему току. Поскольку рабочий ток равен 79,44 А, данное *условие выполняется.*

б) Чтобы избежать ложного отключения сети, правильность выбора номинального тока электромагнитного максимального расцепителя необходимо проверить по формуле:

$$I_{\text{ср. эл. маг.}} \geq 1,5 I_{\text{макс.}}$$

а теплового расцепителя — по формуле:

$$I_{\text{ср. тепл.}} \geq 1,25 I_{\text{р.}}$$

Поскольку максимальный ток двигателей:

$$I_{\text{макс.}} = \sum I_{p(n-1)} k_o + I_{\text{пуск.}} = (79,44 - 39,7) \cdot 1 + 178,65 = 218,39$$

и

$$I_{\text{ср. эл. м.}} = 960 \text{ А} > 1,5 I_{\text{макс.}} = 1,5 \cdot 218,39 = 327,585 \text{ А},$$

ложного отключения электромагнитного расцепителя быть не должно.

Поскольку рабочий ток двигателей:

$$\sum I_p = 79,44 \text{ (А)}$$

и

$$I_{\text{ср. тепл.}} = 100 > 1,25 \sum I_p = 1,25 \cdot 79,44 = 99,3 \text{ (А)},$$

ложного отключения теплового расцепителя быть не должно.

15) Проверяем автомат ответвления АЕ-2056 (100/40) по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемого ответвления:

а) Найдем суммарное сопротивление фазного проводника, равное сопротивлению жилы кабеля от трансформатора до силового распределительного щита плюс сопротивление жилы кабеля ответвления (в распределительных сетях до 1000 В при определении тока короткого замыкания индуктивным сопротивлением можно пренебречь, это приведет к несколько завышенным значениям тока короткого замыкания):

$$r_{\phi} = \sum r (l / S_{\phi}) = 32 \cdot (0,017 / 50) + 32 \cdot (0,150 / 25) = 0,203 \text{ (Ом)};$$

б) Найдем суммарное сопротивление нулевого проводника:

$$r_0 = \sum r (l / S_{\phi}) = 32 \cdot (0,017 / 35) + 32 \cdot (0,150 / 16) = 0,316 \text{ (Ом)};$$

в) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное

сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений: а) для аппаратуры, установленной непосредственно у электроприемников; б) для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; в) для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_{\text{д}} = 0,03 + 0,025 + 0,02 = 0,075 \text{ (Ом)};$$

з) По заданной мощности трансформатора из таблицы 3.3 задан его расчетным сопротивлением:

$$z_{\text{т}(1)} = 0,487 \text{ (Ом)};$$

д) Найдем сопротивление цепи короткого замыкания в конце линии:

$$z_{\text{ф-0}} = r_{\text{ф}} + r_0 + r_{\text{д}} + z_{\text{т}(1)} = 0,203 + 0,316 + 0,075 + 0,487 = 1,081 \text{ (Ом)};$$

е) Найдем ток однофазного короткого замыкания в конце линии:

С учетом того, что э.д.с. трансформатора на 5 % больше номинального напряжения, ток однофазного короткого замыкания в конце линии будет:

$$I_{\text{к.з (к) (1)}} = U_{\text{ф}} / z_{\text{(ф-0)}} = 230 / 1,081 = 212,77 \text{ (А)};$$

ж) Поскольку

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{ср.эл.м.}} = 212,77 / 480 = 0,443 < 1,4,$$

отключение токов короткого замыкания электромагнитным расцепителем в конце защищаемой линии не обеспечено!!!

Поскольку

$$I_{\text{к.з (к)}} / I_{\text{н.тепл.}} = 203,52 / 40 = 5,088 > 3,$$

отключение токов короткого замыкания тепловым расцепителем в конце защищаемой линии обеспечено.

Таким образом, по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемого ответвления *данный автомат выбран правильно*, так как достаточно, чтобы сработал один из расцепителей — электромагнитный или тепловой.

16) Проверяем автомат ответвления АЕ-2056 (100/40) по условию надежности отключения тока короткого замыкания в начале защищаемого ответвления:

а) Найдем сопротивление фазы от трансформатора до силового распределительного щита:

– активное сопротивление кабеля:

$$r_{\phi} = \rho (l / S_{\phi}) = 32 \cdot (0,017 / 50) = 0,01088 \text{ (Ом)};$$

– индуктивное сопротивление кабеля:

$$x_{\phi} = al = 0,07 \cdot 0,017 = 0,00119 \text{ (Ом)};$$

– активное сопротивление фазы питающего трансформатора:

$$r_{\tau} = c / S_{\tau} = 3,5 / 160 = 0,02188 \text{ (Ом)};$$

– индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора:

$$x_{\tau} = d \cdot r_{\tau} = 2 \cdot 0,02188 = 0,04376 \text{ (Ом)};$$

б) Поскольку достоверные данные о полном числе контактов и об их переходных сопротивлениях отсутствуют, примем добавочное сопротивление переходных контактов равным суммарному значению рекомендуемых сопротивлений: а) для вторичных цеховых распределительных пунктов, щитов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов; б) для первичных цеховых распределительных пунктов:

$$r_{\text{д}} = 0,025 + 0,02 = 0,045 \text{ (Ом)};$$

в) Найдем сопротивление фазы:

$$z_{\phi} = \sqrt{(\sum r_{\phi} + \sum r_{\text{д}} + \sum r_{\text{т}})^2 + (\sum x_{\phi} + \sum x_{\text{т}})^2} = \\ = \sqrt{(0,01088 + 0,045 + 0,02188)^2 + (0,00119 + 0,04376)^2} = 0,09 \text{ (Ом)};$$

з) Найдем ток трехфазного короткого замыкания в начале линии:

$$I_{\text{к.з. (н.)}(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\phi}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,09} = 2566,001 \text{ (А)};$$

д) Из каталога находим, что для АЕ-2056 (100) $I_{\text{пр}} = 5000 \text{ А}$. Поскольку

$$I_{\text{пр}} = 5000 \text{ А} > I_{\text{к.з. (н)}} = 2566,001 \text{ А},$$

отключение токов короткого замыкания в начале защищаемой линии обеспечено.

17) Проверяем селективность (избирательность) действия смежных аппаратов защиты.

Для автоматов с тепловыми расцепителями селективность может быть обеспечена при условии:

$$I_{\text{ном.тепл. (2)}} / I_{\text{ном.тепл. (1)}} \geq 1,5.$$

Так как

$$\frac{I_{\text{ном.тепл. (2)}}}{I_{\text{ном.тепл. (1)}}} = \frac{80}{40} = 2 > 1,5,$$

селективность действия аппаратов защиты обеспечена.

18) Проверяем выполнение условия допустимой потери напряжения:

а) Определяем падение напряжения на участке от трансформатора к силовому распределительному щиту. Канализация электро-

энергии на этом участке осуществляется по трехфазной линии с нулевым проводом кабелем с алюминиевыми жилами, напряжение электроприемников 380 В, поэтому по таблице 3.6 принимаем $c = 46$. Тогда:

$$\Delta U_{\text{фТ-ЩСУ}} \% = \frac{\sum P_{\text{р}} \cdot l}{c \cdot s} = \frac{40 \cdot 17}{46 \cdot 50} = 0,296 \%;$$

б) Определяем падение напряжения на участке питания от силового распределительного щита до электродвигателя:

$$\Delta U_{\text{фРУ-ЭД}} \% = \frac{20 \cdot 150}{46 \cdot 25} = 2,61 \%;$$

в) Определяем фактическую потерю напряжения:

$$\sum \Delta U_{\text{ф}} \% = 0,296 \% + 2,61 \% = 2,91 \%.$$

Фактическая потеря напряжения не превышает 5 %, следовательно, в соответствии с ГОСТ 13109-97 *условие выполнено*.

3.12. Упражнения

3.1. Расшифруйте обозначение следующего провода: ППВС – 500 (3 × 2,5).

3.2. Расшифруйте обозначение следующего кабеля: СРБ – 4 × 10.

3.3. Расшифруйте обозначение следующего шнура: ШПРО – 2 × 1,5.

3.4. Определить соответствие сечения и марки проводов осветительной сети покрасочного цеха предусмотренной нагрузке и соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. Для покраски в цехе применяется нитрокраска. В качестве источника питания используется отдельный осветительный трансформатор мощностью 40 кВА. Проводка запроектирована кабелем СРГ на скобах, защита предохранителями типа ПР-2. В цехе установлено 18 светильников на действующее напряжение 220 В мощностью по 150 Вт каждый. Электрическая схема осветительной сети представлена на рис. 3.19.

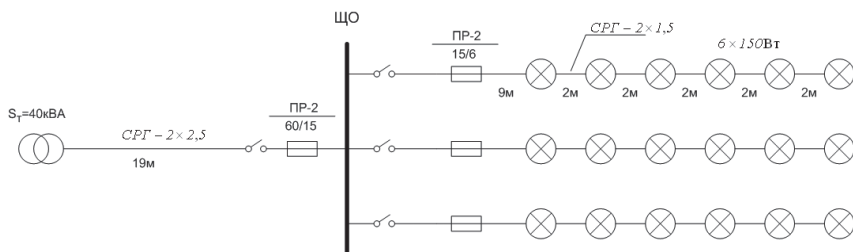


Рис. 3.19. Схема к упражнению 3.4

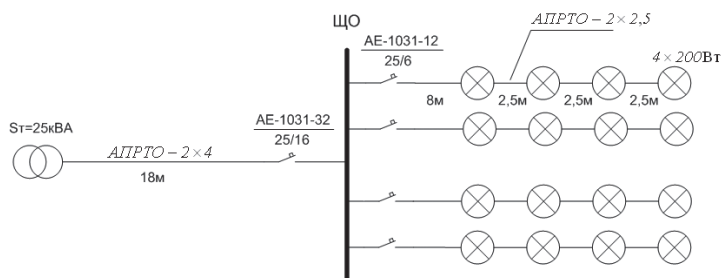


Рис. 3.20. Схема к упражнению 3.5

3.5. Определить соответствие сечения и марки кабеля осветительной сети столярного цеха предусмотренной нагрузке и соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. В качестве источника питания используется отдельный осветительный трансформатор мощностью 25 кВА. Проводка запроектирована проводом АПРТО в трубах, защита автоматическими выключателями типа АЕ-1031. В цехе установлено 16 светильников на действующее напряжение 220 В мощностью по 200 Вт каждый. Электрическая схема осветительной сети представлена на рис. 3.20.

3.6. Определить соответствие сечения и марки проводов подачи электроэнергии к электродвигателям металлорежущих станков слесарной мастерской предусмотренной нагрузке, а также соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. Условия пуска электродвигателей легкие, напряжение питания $U_n = 380$ В, $k_n = 4,7$, $\eta = 0,8$, $\cos \varphi = 0,85$. Электродвигатель управляется магнитным пускателем ПМЕ-222 с тепловым реле ТРН-25 и защищается

плавким предохранителем ПР-2. Подача электроэнергии к электродвигателю выполнена от встроенного трансформатора проводом АПРТО в водогазопроводных трубах. Температура окружающей среды $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Электрическая схема силовой сети представлена на рис. 3.21.

3.7. Определить соответствие сечения и марки кабеля силовой сети зернохранилища предусмотренной нагрузке и соответствие номинальных параметров аппаратов защиты условиям надежности защиты. В качестве источника питания используется пристроенный трансформатор мощностью 150 кВА. Проводка запроектирована кабелем АНРБГ по стенам. Электродвигатель управляется магнитным пускателем ПА-322 с тепловым реле ТРН-40, защита от короткого замыкания осуществляется автоматическими выключателями типа АЕ-2056. В цехе установлено 2 вентилятора на напряжение 380 В мощностью по 25 кВт каждый, $k_{\text{п}} = 4,3$, $\eta = 0,87$, $\cos \varphi = 0,95$. Условия пуска легкие. Температура окружающей среды $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Электрическая схема силовой сети представлена на рис. 3.22.

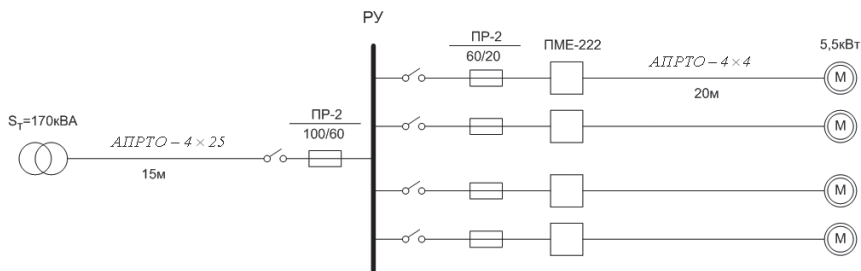


Рис. 3.21. Схема к упражнению 3.6

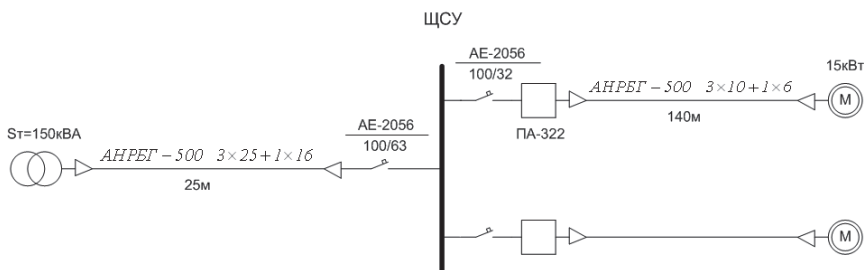


Рис. 3.22. Схема к задаче 3.7

3.13. Вопросы для повторения

1. На какие категории в части обеспечения надежности электро-снабжения потребителей делятся все потребители электрической энергии?
2. Что такое провод?
3. Что такое кабель?
4. Что такое шнур?
5. Перечислите достоинства и недостатки магистральной рас-пределительной сети. В каких случаях используют эту схему?
6. Перечислите достоинства и недостатки радиальной распре-делительной сети. В каких случаях используют эту схему?
7. Какие электропроводки относят к открытым?
8. Какие электропроводки относят к скрытым?
9. Какие требования предъявляют к электропроводкам в пожа-роопасных зонах?
10. Какие требования предъявляют к электропроводкам во взрывоопасных зонах?
11. Перечислите основные параметры плавких предохранителей.
12. Объясните принцип работы плавких предохранителей.
13. Перечислите основные параметры автоматических выклю-чателей.
14. Объясните принцип работы теплового расцепителя автома-тического выключателя.
15. Какие аппараты защиты не защищают от коротких замыканий?
16. В каких случаях можно пренебречь потерей напряжения в проводах?
17. Какие электрические сети защищаются от токов коротких замыканий?
18. Какие электрические сети защищаются от токов перегрузки?
19. Какова величина допустимого отклонения напряжения от номинального на зажимах электродвигателей?
20. К чему приводит понижение номинального напряжения у асинхронных электродвигателей?
21. Что такое кратность пускового тока электродвигателя?
22. Что такое коэффициент загрузки электродвигателя?

Глава 4

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

4.1. Пожарная безопасность электросиловых установок

Пожарная безопасность электросиловых установок обеспечивается при монтаже и эксплуатации выполнением следующих противопожарных мероприятий:

1. Обеспечением соответствия исполнения корпуса характеру окружающей среды, а в пожаровзрывоопасных зонах — классу зоны, категории и группе взрывоопасных смесей.

2. Выполнением правильного монтажа оборудования электроприводов:

а) расстояние от сгораемых конструкций зданий до сопротивлений и реостатов всех исполнений, а также до электродвигателей и аппаратов (за исключением закрытых со степенью защиты не ниже IP 44) должно быть не менее 1 м;

б) все электродвигатели должны иметь защиту от токов коротких замыканий, а во взрывоопасных зонах В-I, В-Ia, В-II и В-IIa и защиту от перегрузок;

в) корпусы электродвигателей и аппаратов должны быть надежно заземлены.

3. Своевременным проведением планово-предупредительных осмотров и ремонтов электродвигателей и аппаратов управления.

Привод машин и механизмов во взрывоопасных зонах должен осуществляться с помощью взрывозащищенных электродвигателей.

По виду взрывозащиты (конструктивным особенностям) взрывозащищенные электродвигатели изготавливаются взрывонепроницаемыми, продуваемыми под избыточным давлением, повышенной надежности против взрыва и маслонаполненными. Взрывозащищенные электродвигатели должны иметь маркировку, которая включает уровень и вид взрывозащиты, а также среду, для которой они предназначены. Электродвигатели, не имеющие знаков взрывозащищенности, применять во взрывоопасных зонах нельзя!

Наибольшее распространение получили электродвигатели во взрывонепроницаемом исполнении, выпускаемые на малые и средние мощности.

Достаточно широко применяются электродвигатели в продуваемом под избыточным давлением исполнении, выпускаемые в основном на большие мощности (свыше 100 кВт). Они применяются для привода насосов, вентиляторов, компрессоров и других механизмов во взрывоопасных зонах.

Очень ограниченно, как по количеству, так и по типам, выпускаются электродвигатели в исполнении повышенной надежности против взрыва.

Отечественной промышленностью ранее выпускались для определенных взрывоопасных сред с соответствующей маркировкой и теперь еще находятся в эксплуатации взрывонепроницаемые электродвигатели нескольких серий: КО, КОМ, МА, ТАГ и др.

До 1981 г. отечественная промышленность выпускала взрывонепроницаемые электродвигатели единой серии ВАО со всеми необходимыми модификациями мощностью от 0,27 до 100 кВт, которая заменяла все старые серии взрывонепроницаемых электродвигателей. Электродвигатели серии ВАО предназначены для продолжительного режима работы во взрывоопасных зонах и наружных взрывоопасных установках всех классов со взрывоопасными средами I, II, III и IV категорий, групп Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 с соответствующей маркировкой.

С 1980 г. для замены электродвигателей серии ВАО начато серийное производство взрывонепроницаемых электродвигателей серии В. Трехфазные асинхронные взрывонепроницаемые электродвигатели серии В с короткозамкнутым ротором мощностью от 0,25 до 110 кВт разработаны в исполнениях по взрывозащите ВЗТ4. Электродвигатели основного исполнения В предназначены для работы в продолжительном режиме в помещениях и наружных установках, опасных по газо-, паровоздушным смесям, отнесенным по взрывоопасности к I, II и III категориям и группам воспламеняемости Т1, Т2, Т3 и Т4.

Электродвигатели серии В питаются от сети 220/380 и 380/660 В. При использовании электродвигателей в наружных установках они должны быть защищены от прямого попадания воды. Электродвигатели серии В по сравнению с электродвигателями серии ВАО

обладают повышенной надежностью и долговечностью. В электродвигателях серии В применена изоляция классов В и Н (см. таблицу 4.1) с использованием тепло- и влагостойких компонентов.

Таблица 4.1

Нагревостойкость изоляционных материалов различных классов

Обозначение класса изоляции	Предельно допустимая температура нагрева изоляции, °С
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	Более 180

Двигатели серий 2В, ВА и АИМ предназначены для применения во взрывоопасных зонах классов В-I и В-II, а также В-Ia и В-Iг.

Электродвигатели серии 2В с маркировкой 1ExdIIВТ4 и серии ВА с маркировками 1ExdIIВТ4 и 2ExdIIСТ4 предназначены для приводов подъемно-транспортных и других механизмов в химической, нефтяной и газовой промышленности.

Электродвигатели серии АИМ с маркировкой 1ExdIIВТ4 предназначены для приводов механизмов в химической, газовой, нефтеперерабатывающей и других отраслях.

4.2. Пожарная безопасность осветительных установок

Применяемые на практике различные системы электрического освещения подразделяются на:

- *общее освещение* — предназначено для освещения помещения (или его части) с относительно равномерной освещенностью или для локализованного освещения;
- *местное освещение* — предназначено для освещения только рабочих мест (стационарное или переносное);

– *комбинированное освещение* — представляет собой совокупность общего и местного освещения.

Различают следующие виды освещения:

– *рабочее освещение* — обеспечивает надлежащие условия видения при работе (разновидностью такого освещения является охранное освещение, обеспечивающее условия видения вдоль границ охраняемой территории);

– *аварийное освещение* — служит для временного выполнения необходимых функций при аварийном выходе из строя рабочего освещения.

Аварийное освещение разделяется на *освещение безопасности* и *эвакуационное*.

Освещение безопасности предназначено для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Светильники рабочего освещения и светильники освещения безопасности в производственных и общественных зданиях и на открытых пространствах должны питаться от независимых источников.

Эвакуационное освещение обеспечивает при аварийном отключении рабочего освещения безопасную эвакуацию людей из помещения.

Светильники и световые указатели эвакуационного освещения в производственных зданиях с естественным освещением и в общественных и жилых зданиях должны быть присоединены к сети, не связанной с сетью рабочего освещения, начиная от щита подстанций (распределительного пункта освещения), или при наличии только одного ввода, начиная от вводного распределительного устройства.

Питание светильников и световых указателей эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения следует выполнять аналогично питанию светильников освещения безопасности.

В производственных зданиях без естественного света в помещениях, где может одновременно находиться 20 человек и более, независимо от наличия освещения безопасности должно предусматриваться эвакуационное освещение по основным проходам и световые указатели «выход», автоматически переключаемые при прекращении их питания на третий независимый внешний или местный источник (аккумуляторная батарея, дизель-генераторная установка и т. п.), не используемый в нормальном режиме для питания рабочего освещения, освещения безопасности и эвакуационного освещения,

или светильники эвакуационного освещения и указатели «выход» должны иметь автономный источник питания.

При отнесении всех или части светильников освещения безопасности и эвакуационного освещения к особой группе первой категории по надежности электроснабжения необходимо предусматривать дополнительное питание этих светильников от третьего независимого источника.

Для помещений, в которых постоянно находятся люди или которые предназначены для постоянного прохода персонала или посторонних лиц и в которых требуется освещение безопасности или эвакуационное освещение, должна быть обеспечена возможность включения указанных видов освещения в течение всего времени, когда включено рабочее освещение, или освещение безопасности и эвакуационное освещение должны включаться автоматически при аварийном погасании рабочего освещения.

Применение для рабочего освещения, освещения безопасности и (или) эвакуационного освещения общих групповых щитков, а также установка аппаратов управления рабочим освещением, освещением безопасности и (или) эвакуационным освещением, за исключением аппаратов вспомогательных цепей (например, сигнальных ламп, ключей управления), в общих шкафах не допускается!

Разрешается питание освещения безопасности и эвакуационного освещения от общих щитков.

Использование сетей, питающих силовые электроприемники, для питания освещения безопасности и эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения не допускается!

Допускается применение ручных осветительных приборов с аккумуляторами или сухими элементами для освещения безопасности и эвакуационного освещения взамен стационарных светильников (здания и помещения без постоянного пребывания людей, здания площадью застройки не более 250 м²).

Для аварийного освещения рекомендуется применять светильники с лампами накаливания или люминесцентными.

Разрядные лампы высокого давления допускается использовать при обеспечении их мгновенного зажигания и перезажигания.

Согласно п. 7.4.32 ПУЭ в пожароопасных зонах должны применяться светильники, имеющие степень защиты не менее указанной в таблице 4.2.

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.

Таблица 4.2

Минимальные допустимые степени защиты светильников
в зависимости от класса пожароопасной зоны

Источники света, устанавливаемые в светильниках	Степень защиты светильников для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIa, а также П-II при наличии местных нижних отсосов и общеобменной вентиляции	П-III
Лампы накаливания	IP53	IP53	2'3	2'3
Лампы ДРЛ	IP53	IP53	IP23	IP23
Люминесцентные лампы	5'3	5'3	IP23	IP23

Примечание: Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники

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.

Согласно п. 7.3.76 ПУЭ во взрывоопасных зонах могут применяться электрические светильники при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты соответствуют таблице 4.3 или являются более высокими.

В помещениях с взрывоопасными зонами любого класса со средой, для которой не имеется светильников необходимого уровня взрывозащиты, допускается выполнять освещение светильниками общего назначения (без средств взрывозащиты) одним из следующих способов:

а) через неоткрывающиеся окна без фрамуг и форточек, снаружи здания, причем при одинарном остеклении окон светильники должны иметь защитные стекла или стеклянные кожухи;

б) через специально устроенные в стене ниши с двойным остеклением и вентиляцией ниш с естественным побуждением наружным воздухом;

в) через фонари специального типа со светильниками, установленными в потолке с двойным остеклением и вентиляцией фонарей с естественным побуждением наружным воздухом;

г) в коробах, продуваемых под избыточным давлением чистым воздухом. В местах, где возможны поломки стекол, для застекления коробов следует применять небьющееся стекло;

д) с помощью осветительных устройств с щелевыми световодами.

Таблица 4.3

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты электрических светильников в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрыво- опасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
<i>Стационарные светильники</i>	
В-I	Взрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53*
В-II	Повышенной надежности против взрыва (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ)
В-IIa	Без средств взрывозащиты (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ) Степень защиты IP53*
<i>Переносные светильники</i>	
В-I, В-Ia	Взрывобезопасное
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасное (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ)
В-IIa	Повышенной надежности против взрыва (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ)

Примечание: * Допускается изменение степени защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники

Согласно п. 6.6.5 ПУЭ во взрывоопасных зонах все стационарно установленные осветительные приборы должны быть жестко укреплены для исключения раскачивания.

Согласно п. 7.3.135 б) и в) ПУЭ в осветительных сетях во взрывоопасных зонах любого класса, кроме класса В-I, должно осуществляться зануление — на участке от светильника до ближайшей ответвительной коробки — отдельным проводником, присоединенным к нулевому рабочему проводнику в ответвительной коробке, а в осветительных сетях во взрывоопасной зоне класса В-I — отдельным проводником, проложенным от светильника до ближайшего группового щитка.

4.3. Пожарная безопасность термических установок

Электротермической установкой называют комплекс функционально связанных элементов: специализированного электротермического и другого электротехнического, а также механического оборудования, средств управления, автоматики и КИП, обеспечивающих проведение соответствующего технологического процесса.

В состав электротермической установки, в зависимости от ее назначения и конструктивного исполнения оборудования, входят: кабельные линии, электропроводки и токопроводы между элементами установки, а также трубопроводы систем водоохлаждения и гидравлического привода; трубопроводы линий сжатого воздуха, азота, аргона, гелия, водорода, углекислого газа и других газов, водяного пара или вакуума, системы вентиляции и очистки газов, а также элементы строительных конструкций (фундаменты, рабочие площадки и т. п.).

Электротермическое оборудование — это электротехнологическое оборудование, предназначенное для преобразования электрической энергии в тепловую с целью нагревания (расплавления) материалов.

К электротермическому оборудованию относятся *электрические печи* (электропечи) и *электронагревательные устройства* (приборы, аппараты). Электропечи отличаются от электронагревательных устройств тем, что имеют камеру или ванну.

Различают производственные и лабораторные *установки электропечей и электронагревательных устройств* переменного тока *промышленной* — 50 Гц, *пониженной* — ниже 50 Гц, *повышенно-средней* — до 30 кГц, *высокой* — от 30 кГц до 300 МГц и *сверхвысокой* — от 300 МГц до 300 ГГц частоты и *постоянного* (выпрямленного) тока:

- дуговых *прямого* (включая вакуумные дуговые), *косвенного* действия и *комбинированного* нагрева с преобразованием электроэнергии в тепловую в электрической дуге и в сопротивлении шихты, в том числе *руднотермических* (рудовосстановительных, ферросплавных), а также *плазменных* нагревательных и плавильных;

- индукционных *нагревательных* (включая закалочные) и *плавильных* (тигельных и канальных);

- диэлектрического нагрева;

- сопротивления *прямого* и *косвенного* действия (с любым материалом нагревателя: твердым и жидким), в том числе печей электрошлакового *переплава, литья* и *наплавки*, а также печей электродных расплавления флюса для перечисленных разновидностей электрошлаковых печей;

- электронно-лучевых;

- ионных;

- лазерных.

В разновидностях электротермических установок, во входящем в состав этих установок электротермическом оборудовании электрическая энергия преобразуется в тепловую в основном тремя способами:

- непосредственно в заданных элементах (элементе) этой цепи или между заданными элементами (например, почти полностью или частично между одним или несколькими электродами и шихтой, слитком) на переменном токе промышленной и пониженной частоты, на постоянном токе, а при использовании в плазменных печах индукционных плазменных горелок — на токе высокой или сверхвысокой частоты;

- в результате создания у заданного элемента (элементов) указанной цепи электромагнитного поля или электрического поля с последующим превращением в нагреваемом (расплавляемом) материале энергии поля в тепловую энергию;

- посредством формирования потока электронов, ионов или лазерного луча с воздействием (вид определяется требованиями технологии) на обрабатываемый материал, как правило, на его поверхность.

Рабочее напряжение электротермических установок по номинальному значению делится на три класса: до 50 В переменного или 110 В постоянного тока; более указанного выше напряжения до 1600 В переменного или постоянного тока; более 1600 В переменного или постоянного тока.

В настоящее время электрическая энергия весьма широко применяется для преобразования ее в тепло с целью выполнения различных электротермических технологических процессов, к которым можно отнести: сушку различных окрашенных изделий; сушку диэлектриков; плавку всевозможных металлов, их сплавов; плавку некоторых огнеупоров и стекла; приготовление из руд ферросплавов и карбидов; нагрев металлов для последующих видов термической обработки (закалка, отжиг, нормализация и т. п.); сварку металлических соединений; нагрев воды; обогрев парников, полов в животноводческих помещениях, подогрев воздуха и многие другие.

Широкое применение тепловой энергии электрического тока почти во всех областях экономики объясняется большими преимуществами, которые дает электрический нагрев. Он позволяет легко и быстро получать тепловую мощность, регулируемую как по температуре, так и по величине; получать весьма высокие температуры; обеспечивает в случае необходимости очень быстрый нагрев; допускает нагрев на требующуюся толщину и площадь. Все технологические процессы при электрическом нагреве характеризуются чистотой и удобством обслуживания установок.

Мощность современных электротермических агрегатов в одной единице достигает 30–40 кВт. Ток в некоторых агрегатах достигает 200–300 кА.

На рис. 4.1 в качестве иллюстрации электротермической установки показан пример дуговой электропечи.

Внутреннее очертание футеровки ванны печи, стен и свода образует плавильное пространство печи. Оптимальной формой ванны, в которой находятся металл и шлак, является сфероконическая.

Коническая часть имеет уклон 45° , что облегчает заправку печи и позволяет поддерживать необходимую форму ванны в процессе работы печи.

Глубина ванны H у больших печей равна 700–1300 мм. Высота сферической части h_1 обычно составляет $1/5$ общей глубины, т. е. $H/h_1 = 5$. Между глубиной ванны и ее диаметром D должно

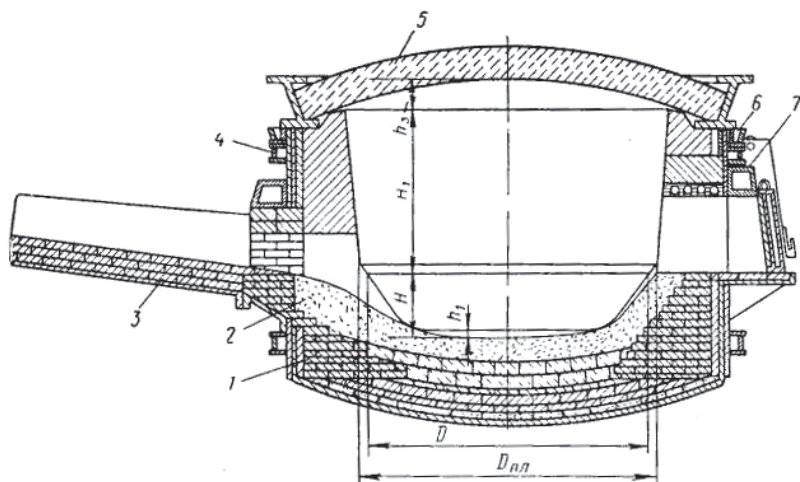


Рис. 4.1. Дуговая электропечь ДСП-80:

1 — магнезитовая кладка пода; 2 — магнезитовая набойка пода; 3 — шамотная футеровка желоба; 4 — магнетитовый блок; 5 — динасовый свод; 6 — песочный затвор; 7 — арка рабочего окна

быть определенное соотношение, обеспечивающее легкое опорожнение печи при ее наклоне на угол $40-45^\circ$, а также достаточную поверхность соприкосновения между металлом и шлаком, от которой в значительной мере зависит скорость протекания физико-химических реакций. Соотношение H/D должно быть равно $1/5$. На уровне зеркала ванны устраивается порог рабочего окна. Чтобы предохранить стык между футеровкой стен и откосами ванны от излишнего воздействия шлака, откосы поднимают выше зеркала ванны (уровня порога окна) на $100-200$ мм. При этом на уровне стыка откосов со стенками образуется линия, имеющая форму окружности с диаметром $D_{пл.}$, называемым диаметром плавильного пространства.

Высота плавильного пространства H_1 , равная расстоянию от порога рабочего окна до пят свода, у печей большой емкости связана с диаметром ванны следующим соотношением: $H_1/D = 0,42 \div 0,44$. Увеличение высоты кожуха дает возможность повысить в шихте долю более дешевого легковесного лома, тем самым уменьшить количество дополнительных подвалок шихты, т. е. повысить производительность

печи и снизить себестоимость стали. Наклон футеровки стен обычно делают примерно 100 мм на 1 м высоты.

Высота подъема свода h_3 зависит от материала огнеупорной кладки и находится в следующем соотношении с диаметром плавильного пространства: $h_3/D_{\text{п.л.}} = 1/8 \div 1/9$.

Футеровка электродуговых печей выполняется из основных или кислых огнеупорных материалов. Наиболее распространены печи с основной футеровкой, в них выплавляется сталь для слитков, в печах с кислой футеровкой выплавляется небольшое количество стали преимущественно для фасонного литья.

Процесс плавки с окислением складывается из следующих последовательных стадий: заправки печи, загрузки шихты, плавления шихтовых материалов, окислительного периода, восстановительного периода и выпуска плавки.

Подвод тока в плавильное пространство электродуговой печи (см. рис. 4.2) осуществляется тремя угольными или графитовыми электродами цилиндрической формы.

Плавление шихты проводят форсированно на максимальной ступени вторичного напряжения печного трансформатора. Постепенно электроды опускаются вниз, проплавляя в шихте колодцы диаметром на 30–40 % больше диаметров электродов. По мере плавления шихты вокруг электродов уровень жидкого металла повышается, одновременно происходит подъем электродов. Автоматические регуляторы

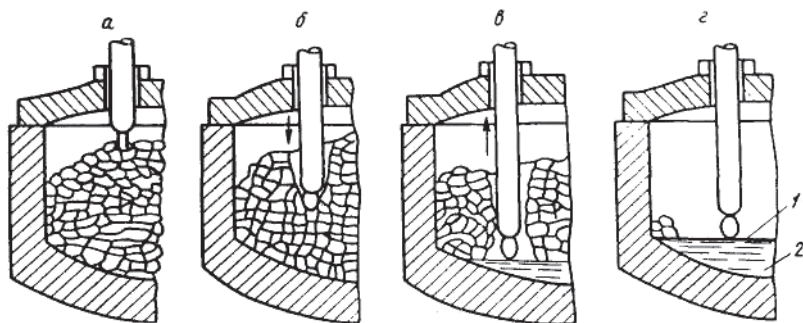


Рис. 4.2. Последовательные этапы плавления шихты в дуговой печи: а — начало плавления; б — опускание электрода вниз; в — подъем электрода вверх; г — конец плавления: 1 — шлак; 2 — металл

поддерживают необходимую постоянную длину дуг. Постепенно плавление охватывает шихту между электродами, а затем и расположенную у откосов.

В конце периода плавления, когда электрические дуги не закрыты шихтой, снижают мощность, переключая печь на более низкую ступень напряжения. По окончании всех технологических операций производят выпуск металла в ковш.

В соответствии с п. 7.5.10 ПУЭ первичная цепь каждой электротермической установки, как правило, должна содержать следующие коммутационные и защитные аппараты в зависимости от напряжения питающей электросети промышленной частоты:

- до 1 кВ — выключатель (рубильник с дугогасящими контактами, пакетный выключатель) на вводе и предохранители, или блок выключатель-предохранитель или автоматический выключатель с электромагнитными и тепловыми расцепителями;

- выше 1 кВ — разъединитель (отделитель, разъемное контактное соединение КРУ) на вводе и выключатель оперативно-защитного назначения или разъединитель (отделитель, разъемное контактное соединение КРУ) и два выключателя — оперативный и защитный.

Для включения электротермического устройства мощностью менее 1 кВт в электрическую сеть до 1 кВ допускается использовать на вводе втычные разъемные контактные соединения, присоединяемые к линии (магистральной или радиальной), устройство защиты которой установлено в силовом (осветительном) пункте или щитке.

В первичных цепях электротермических установок напряжением до 1 кВ допускается в качестве вводных коммутационных аппаратов использовать рубильники без дугогасящих контактов при условии, что коммутация ими выполняется без нагрузки.

Выключатели напряжением выше 1 кВ оперативно-защитного назначения в электротермических установках, как правило, должны выполнять операции включения и отключения электротермического оборудования (печей или устройств), обусловленные эксплуатационными особенностями его работы, и защиту от коротких замыканий и ненормальных режимов работы.

Оперативные выключатели напряжением выше 1 кВ электротермических установок должны выполнять оперативные и часть защитных функций, объем которых определяется при конкретном

проектировании, но на них не должна возлагаться защита от коротких замыканий (кроме эксплуатационных коротких замыканий, не устраняемых в случае неисправности системы автоматического регулирования печи), которую должны осуществлять защитные выключатели.

Оперативно-защитные и оперативные выключатели напряжением выше 1 кВ допускается устанавливать как на печных подстанциях, так и в цеховых (заводских и т. п.) распределительных устройствах.

Допускается устанавливать один защитный выключатель для защиты группы электротермических установок.

В соответствии с п. 7.5.17 ПУЭ под маслонаполненным оборудованием печных подстанций должны сооружаться:

- при массе масла в одном баке (полюсе) до 60 кг — порог или пандус для удержания полного объема;
- при массе масла в одном баке (полюсе) от 60 до 600 кг — приемник или маслоприемник для удержания полного объема масла;
- при массе масла более 600 кг — маслоприемник на 20 % объема масла с отводом в маслосборный бак.

Маслосборный бак должен быть подземным и располагаться вне зданий на расстоянии не менее 9 м от стен I–II степеней огнестойкости и не менее 12 м от стен III–IV степеней огнестойкости по СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

Вместимость подземного сборного бака должна быть не менее суммарного объема масла в оборудовании, установленном в камере, а при присоединении к сборному баку нескольких камер — не менее наибольшего суммарного объема масла одной из камер.

Маслоприемник должен перекрываться металлической решеткой, поверх которой следует насыпать слой промытого просеянного гравия или непористого щебня с частицами от 30 до 70 мм толщиной не менее 250 мм.

Согласно п. 7.5.18 ПУЭ под устройствами для приема масла не допускается располагать помещения с постоянным пребыванием людей!

В соответствии с п. 7.5.21 ПУЭ камеры (помещения) с маслонаполненным электрооборудованием следует снабжать автоматическими системами пожаротушения при суммарном количестве масла, превышающем 10 т — для камер (помещений), расположенных на отметке первого этажа и выше, и 0,6 т — для камер (помещений), расположенных ниже отметки первого этажа.

Эти системы пожаротушения должны иметь помимо автоматического также и ручные режимы пуска (местный — для опробования и дистанционный — с пульта управления электротермической установкой).

При суммарном количестве масла в указанных камерах (помещениях) менее 10 и 0,6 т соответственно они должны оборудоваться пожарной сигнализацией.

Согласно п. 7.5.23 ПУЭ оборудование электротермических установок вне зависимости от его номинального напряжения допускается размещать непосредственно в производственных помещениях, если его исполнение соответствует условиям среды в данном помещении.

При этом во взрывопожароопасных и наружных зонах помещений допускается размещать только такое оборудование электротермических установок, которое имеет нормируемые для данной среды уровни и виды взрывозащиты или соответствующую степень защиты оболочки.

Большую пожарную опасность представляют электросварочные установки.

Электросварочной установкой называется комплекс функционально связанных элементов соответствующего электросварочного и общего назначения электротехнического, а также механического и другого оборудования, средств автоматики и КИП, обеспечивающих осуществление необходимого технологического процесса.

В состав электросварочных установок в зависимости от их назначения, конструктивного исполнения оборудования, степени механизации и автоматизации входят кабельные линии, электропроводки и токопроводы внешних соединений между элементами установки, а также в пределах установки трубопроводы систем водоохлаждения и гидравлического привода, линий сжатого воздуха, азота, аргона, гелия, углекислого газа и других газов, а также вакуума.

Электросварочные установки предназначены для выполнения электротехнологических процессов сварки, наплавки, напыления, резки плавлением (разделительной и поверхностной) и сварки с применением давления, в том числе:

- дуговой и плазменной сварки, наплавки, переплава, напыления, резки;
- электрошлаковой сварки, электрошлакового и плазменно-дугового переплава;

- индукционной сварки и наплавления;
- электронно-лучевой сварки;
- лазерной сварки и резки;
- сварки контактным разогревом;
- контактной или диффузионной сварки;
- дугоконтактной сварки (с разогревом до пластического состояния торцов свариваемого изделия возбужденной дугой, вращающейся в магнитном поле, с последующим контактным соединением их давлением).

Впервые электродуговая сварка металлов была предложена в 1882 г. русским изобретателем Н.Н. Бенардосом. Через шесть лет Н.Г. Славянов усовершенствовал производство сварки. Если Н.Н. Бенардос применял для сварки угольный электрод, то Н.Г. Славянов использовал металлический электрод. Электрическая дуга при сварке по методу Славянова горит между металлическим электродом и свариваемыми деталями. Расплавленный металл электрода и деталей, застывая, образует шов. Сварка металлическим электродом является сейчас основным способом сварки металлов.

В качестве источников питания сварочной дуги используются сварочные трансформаторы; агрегаты, генераторы и преобразователи; выпрямители; разнообразные источники с электронным управлением.

Сварочный трансформатор (см. рис. 4.3) представляет собой простейший источник питания сварочной дуги. Первичная обмотка 1 трансформатора T включается в сеть с напряжением 220 или 380 В. Регулятор сварочного тока P состоит из сердечника и обмотки. Вторичная обмотка 2 трансформатора и обмотка 3 регулятора тока помимо электрической связи связаны магнитно. Сварочный ток $I_{св}$ между электродом 4 и изделием 5 регулируется изменением воздушного зазора α между неподвижной и подвижной частями сердечника регулятора.

Более сложный сварочный источник состоит из шкафа управления и горелки. В шкафу управления сварочного источника, например переменного тока, расположены силовой (Т) и вспомогательный трансформаторы, сетевой контактор, магнитный усилитель для управления сварочным током (БУ магнитного шунта), блок конденсаторов (С) для подавления постоянной составляющей тока, аппаратура управления работой установки, блок поджигания и стабилизации дуги (Ст) (см. рис. 4.4).

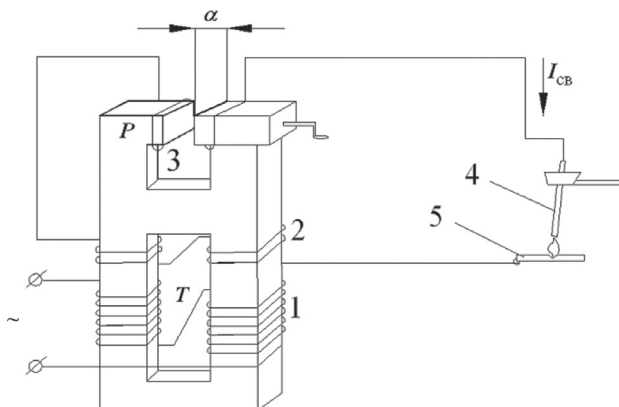


Рис. 4.3. Сварочный трансформатор:

$I_{св}$ — сварочный ток, T — трансформатор, P — регулятор сварочного тока (сердечник и обмотка), 1 — первичная обмотка, 2 — вторичная обмотка, 3 — обмотка регулятора тока, 4 — электрод, 5 — изделие, α — воздушный зазор между неподвижной и подвижной частями сердечника

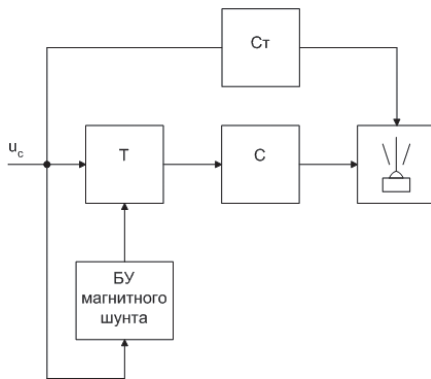


Рис. 4.4. Структурная схема источника питания переменного тока ИПК-350

Электродуговая сварка относится к огнеопасным работам. Возможность возникновения пожара при сварке определяется наличием горючего материала, кислорода воздуха и источников зажигания. Горючие материалы и кислород воздуха находятся в совокупности.

К горючим материалам относятся: изоляция сварочных проводов, обмоток сварочных машин и аппаратов, деревянные конструкции зданий, строительные отходы и др. Нередко горючие материалы (жидкие и газообразные) находятся в самих производственных аппаратах и установках, где производится сварка. В этом случае, при наличии взрывчатой смеси, возможны взрывы.

Пожарная опасность на местах электродуговой сварки определяется наличием электрической дуги и большого количества искр от раскаленных свариваемых предметов, а также наличием остатков электродов (огарков). Электрическая дуга, обладая температурой до 4000 °С, может воспламенить любую горючую среду. Появляющиеся в процессе сварки искры в виде частичек расплавленного металла несут с собой значительную тепловую энергию. Опасная зона распространения искр от места электрической сварки составляет в среднем до 5 м (по радиусу). Пожарная опасность от раскаленных остатков электродов (огарков) возникает чаще всего при сварке на высоте. Выбываемые из электрододержателя раскаленные огарки, попадая на нижележащие этажи и площадки, могут вызвать возгорание строительных отходов и других горючих материалов.

Развитие пожара от искр и раскаленных остатков электродов протекает обычно скрыто и обнаруживается спустя длительное время после сварки. Неправильная эксплуатация и неисправность сварочного оборудования могут быть причиной пожаров и вне зоны сварочных работ. Причиной возникновения пожаров при неправильном выполнении обратного провода могут явиться блуждающие токи. В некоторых случаях сопротивление обратного провода бывает выше, чем других обходных путей, по которым может пройти ток. Поэтому часть сварочного тока протекает по этим новым путям, создавая искрение и нагрев мест с переходными сопротивлениями.

В соответствии с п. 7.6.14 ПУЭ для электросварочных установок, оборудование которых требует оперативного обслуживания на высоте 2 м и более, должны быть выполнены рабочие площадки, огражденные перилами, с постоянными лестницами. Площадки, ограждения и лестницы должны быть выполнены из негорючих материалов. Настил рабочей площадки должен иметь покрытие из диэлектрического материала, не распространяющего горение.

Согласно п. 7.6.19 ПУЭ однопостовой источник сварочного тока, как правило, должен располагаться на расстоянии не далее 15 м от сварочного поста.

Первичная цепь электросварочной установки должна содержать коммутационный (отключающий) и защитный электрические аппараты (аппарат), ее номинальное напряжение должно быть не выше 660 В.

Согласно п. 7.6.21 ПУЭ электросварочные установки с многопостовым источником сварочного тока должны иметь устройство (автоматический выключатель, предохранители) для защиты источника от перегрузки, а также коммутационный и защитный электрические аппараты (аппарат) на каждой линии, отходящей к сварочному посту. Эти линии следует выполнять *радиальными*; применение в установках с многопостовыми сварочными выпрямителями магистральных схем допускается только при технико-экономическом обосновании.

В соответствии с п. 7.6.24 ПУЭ присоединение переносной или передвижной электросварочной установки непосредственно к стационарной электрической сети должно осуществляться с использованием коммутационного и защитного аппаратов (аппарата) с разборными или разъемными контактными соединениями. Обязательно наличие блокировки, исключающей возможность размыкания и замыкания этих соединений, присоединения (отсоединения) жил кабельной линии (проводов) при включенном положении коммутационного аппарата.

Согласно п. 7.6.28 ПУЭ в электросварочных установках, в которых дуга горит между электродом и электропроводящим изделием, следует заземлять вывод вторичной цепи источника сварочного тока, соединяемый проводником (обратным проводом) с изделием.

Электросварочные установки, в которых по условиям электро-технологического процесса не может быть выполнено заземление согласно п. 7.6.28 ПУЭ, а также переносные и передвижные электросварочные установки, заземление оборудования которых представляет значительные трудности, должны быть снабжены устройствами защитного отключения или непрерывного контроля изоляции.

В соответствии с п. 7.6.34 ПУЭ для электросварочных установок и сварочных постов, предназначенных для постоянных электросварочных работ в зданиях вне сварочно-сборочных цехов и участков, должны быть предусмотрены специальные вентилируемые по-

мещения, выгороженные противопожарными перегородками 1-го типа, если они расположены смежно с помещениями категорий А, Б и В по взрывопожарной опасности, и 2-го типа в остальных случаях. Площадь и объем таких помещений и системы их вентиляции должны соответствовать требованиям действующих санитарных правил и СНиП с учетом габаритов сварочного оборудования и свариваемых изделий.

Согласно п. 7.6.35 ПУЭ сварочные посты допускается располагать во взрыво- и пожароопасных зонах только в период производства временных электросварочных работ, выполняемых с соблюдением требований, изложенных в типовой инструкции по организации безопасного ведения огневых работ на взрыво- и взрывопожароопасных объектах, утвержденной Госгортехнадзором России.

В соответствии с п. 7.6.38 ПУЭ сварочные посты для систематического выполнения ручной дуговой сварки или сварки в среде защитных газов изделий малых и средних габаритов непосредственно в производственных цехах в непожароопасных и невзрывоопасных зонах должны быть размещены в специальных кабинах со стенками из несгораемого материала.

В соответствии с п. 7.6.39 ПУЭ выполнение работ на сварочных постах при несистематической ручной дуговой сварке, сварке под флюсом и электрошлаковой сварке допускается непосредственно в пожароопасных помещениях при условии ограждения места работы щитами или занавесами из негорючих материалов высотой не менее 1,8 м.

Согласно п. 7.6.48 ПУЭ для подвода тока от источника сварочного тока к электрододержателю установки ручной дуговой сварки (резки, наплавки) или к дуговой плазменной горелке прямого действия установки плазменной резки (сварки) должен применяться гибкий провод с резиновой изоляцией и в резиновой оболочке. Применение проводов с изоляцией или в оболочке из материалов, распространяющих горение, не допускается.

Согласно п. 7.6.52 ПУЭ в качестве обратного провода не допускается использование металлических строительных конструкций зданий, трубопроводов и технологического оборудования, а также проводников сети заземления.

В соответствии с п. 7.6.61 ПУЭ сварочные электронно-лучевые установки должны иметь защиту от жесткого и мягкого рентгеновского

излучения, обеспечивающую их полную радиационную безопасность, при которой уровень излучения на рабочих местах должен быть не выше допустимого действующими нормативами для лиц, не работающих с источниками ионизирующих излучений.

Согласно п. 7.6.64 ПУЭ для подвода сварочного тока к специальным передвижным или подвесным машинам контактной сварки, используемым для сварки громоздких конструкций в труднодоступных местах, должен применяться гибкий шланговый кабель (провод) с изоляцией и оболочкой из не распространяющего горение материала с воздушным, а в обоснованных случаях — с водяным охлаждением.

4.4. Меры электробезопасности в электроустановках

Вследствие соприкосновения с частями электроустановок, нормально находящимися под напряжением, и соприкосновения с частями установок, нормально не находящимися под напряжением, но случайно могущими оказаться под таковым из-за повреждения изоляции, возникает вероятность поражения людей электрическим током. Около 75 % поражений происходит в сетях при напряжении до 1000 В и около 25 % — в сетях с напряжением более 1000 В.

В отношении опасности поражения людей электрическим током различаются:

а) *помещения без повышенной опасности*, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

б) *помещения с повышенной опасностью*, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) — с другой;

в) *особо опасные помещения*, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особая сырость;
- химически активная или органическая среда;
- одновременно два или более условий повышенной опасности;

г) *территория открытых электроустановок* в отношении опасности поражения людей электрическим током *приравнивается к особо опасным помещениям*.

Различают *два* основных вида поражения человека электрическим током — *электрические травмы* и *электрические удары*.

Электрической травмой называется ярко выраженное местное нарушение тканей организма (кожи, мышц, костей, связок). Характерными ее проявлениями являются ожоги, электрические кресты, металлизация кожи, механические повреждения.

Электрическим ударом называется возбуждение тканей, вызванное электрическим током в организме и сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц (например, рук, ног). В более тяжелых случаях наблюдается потеря сознания, нарушение работы сердечно-сосудистой системы или легких, что может привести даже к смертельному исходу. Во многих случаях возникает фибрилляция сердца, т. е. беспорядочные сокращения волокон сердечной мышцы, нарушающие ритмичное нагнетание крови в сосуды и приводящие к остановке кровообращения. При электрическом ударе могут быть и другие виды нарушения деятельности организма — спазмы мозговых и коронарных сосудов, паралич дыхания и т. п.

Степень поражения электрическим током зависит от величины и рода тока, частоты, продолжительности воздействия, путей протекания тока, состояния здоровья человека и других факторов.

При поражениях электрическим током необходимо незамедлительное применение методов оживления организма. Смерть от действия электрического тока часто бывает лишь кажущейся. Главной причиной мнимой смерти является остановка дыхания, поэтому жизнь человека, пострадавшего от электрического тока, будет зависеть от того, насколько быстро ему сумеют вернуть дыхание. Основной мерой оживления мнимо умершего является проведение искусственного дыхания и наружного (непрямого) массажа сердца.

Данные о физиологическом воздействии тока промышленной частоты на человека приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Физиологическое действие переменного тока промышленной частоты на человека

Ток, мА	Характер действия тока
Менее 5 мА	Покалывание и дрожание пальцев рук, первые болевые ощущения
8–10	Сильные боли в пальцах и кистях рук. Управление мышцами рук затруднено, но не утрачено.
20–25	Руки парализуются. Оторваться от проводов невозможно, затруднено дыхание.
40–60	При времени воздействия более 2 секунд остановка дыхания. Начало фибрилляции сердца. Возможна гибель пострадавшего.
90–100	Остановка дыхания. При воздействии 2 секунды и более остановка сердца. Наиболее вероятен смертельный исход.
3000 и более	Остановка дыхания и сердца при действии свыше 0,1 секунды. Разрушение тканей тела.

Для защиты людей от поражения электрическим током применяют: ограждения, блокировки, сигнализацию, размещают токоведущие части на недоступной высоте, применяют индивидуальные защитные средства (перчатки, галоши, коврики и т. п.), понижают напряжение, применяют двойную (усиленную) изоляцию электрооборудования, защиту от попадания высшего напряжения на сторону низшего, выравнивание потенциалов, защитное отключение, заземление и зануление.

Основным защитным устройством людей при прикосновениях к элементам электрооборудования, оказавшимся под напряжением при аварийных режимах, является заземление и зануление.

Корпусы электрических машин и аппаратов изолированы от расположенных в них токоведущих частей. При нормальном состоянии изоляции прикосновение человека к корпусам не представляет никакой опасности. Однако в случае порчи изоляции корпуса могут оказаться под напряжением, и человек, коснувшись их, может получить поражение током в той или иной степени.

На рис. 4.5 показана двухпроводная сеть; она может быть постоянного или переменного тока.

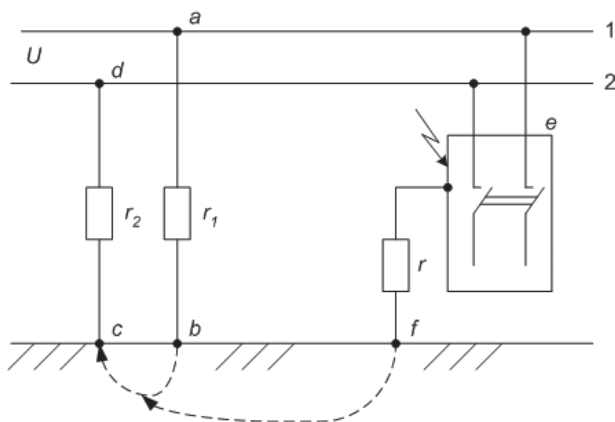


Рис. 4.5. Электрическая сеть без заземления

На этом рисунке сопротивления изоляции по отношению к земле изображены в виде двух сосредоточенных сопротивлений r_1 и r_2 , а сопротивление человека обозначено через r (Для расчета величины силы тока, протекающего через человека при попадании его под электрическое напряжение, сопротивление тела человека условно принимается равным 1 кОм. В действительности сопротивление тела человека — величина переменная, зависящая от множества факторов, в том числе и от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов, состояния окружающей среды и т. п. Электрическое сопротивление тела человека при сухой, чистой и неповрежденной коже при напряжении 15–20 В находится в пределах от 3 кОм до 10 кОм, а иногда и более.). На рисунке также показан рубильник, заключенный в металлический кожух.

Как бы ни была совершенна изоляция, она все же обладает сопротивлением конечной величины относительно земли, и поэтому в сетях при нормальном состоянии изоляции наблюдаются токи, проходящие по пути $a - b - c - d$, называемые *токами утечки*. (Следует помнить еще и о емкостных токах — токах смещения; часто их значения значительно больше значений токов утечки.) Эти токи имеют небольшое значение; однако величина их сильно возрастает в случае уменьшения сопротивления изоляции.

Предположим, что в точке e изоляция пробита, и кожух рубильника получил потенциал провода 1. Если человек прикоснется к кожуху, создается цепь $1 - e - r - f - c - d$, и через тело человека пройдет ток.

Токи величиной 0,05 А и больше опасны для жизни человека, а токи в 0,1 А считаются смертельными.

В целях безопасности человека вследствие поражения током, корпуса электрических машин и аппаратов заземляют, т. е. металлически соединяют с трубами 3, забитыми в землю (см. рис. 4.6). Эти трубы называются *заземлителем*; провод, соединяющий корпус с заземлителем, — *заземляющим проводом*, а совокупность заземляющего провода и заземлителя — *защитным заземлением*.

Назначение защитного заземления — снизить потенциал установки по отношению к земле до безопасной величины. Действительно, при соединении кожуха через заземлитель с землей резко понижается относительно земли потенциал в точке e ; вместе с тем снижается и разность потенциалов между точками e и f , к которым одновременно прикоснулся человек. Эта разность потенциалов называется *напряжением прикосновения*. Соответствующим подбором сопротивления заземлителя можно довести напряжение прикосновения до такой величины, при которой ток, проходящий через тело человека, станет безопасным для его жизни.

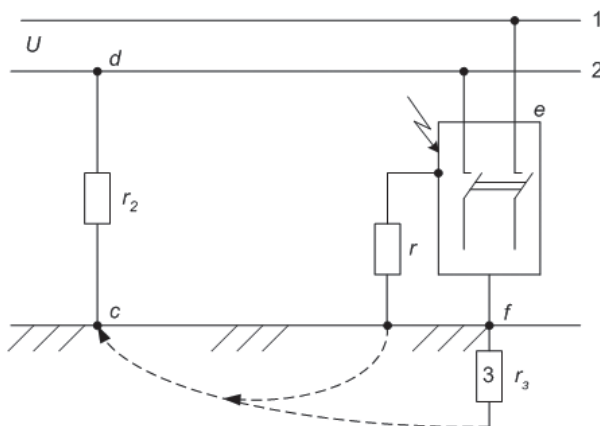


Рис. 4.6. Сущность защитного заземления

Для обозначения типа заземлителя, характеризующего отношение к земле нейтрали трансформатора на подстанции и открытых проводящих частей у потребителя, а также устройство нейтрального проводника, введены следующие обозначения типов систем заземления:

- *система TN* — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;

- *система TT* — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника;

- *система IT* — система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

TN-система по устройству нейтрального проводника, в свою очередь, делится на TN-S-, TN-C и TN-C-S-системы:

- *система TN-S* — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;

- *система TN-C* — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;

- *система TN-C-S* — система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

Совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обозначается следующим образом:

- *N-проводник* — нулевой рабочий проводник в электроустановке до 1 кВ, предназначенный для питания однофазных электроприемников и соединенный с заземленной нейтралью трансформатора на подстанции;

- *PE-проводник* — защитный проводник, применяемый для каких-либо защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения открытых проводящих частей:

- с другими открытыми проводящими частями;
- со сторонними проводящими частями;
- с заземлителями, заземляющим проводником или заземленной токоведущей частью.

– *PEN-проводник* — совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник в электроустановке до 1 кВ, совмещающий в себе функции нулевого рабочего и защитного проводников.

Сопротивление заземляющего устройства в сетях с изолированной нейтралью должно быть не более 4 Ом. В сетях с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660 В, 380 В и 220 В трехфазного тока, или 380, 220, и 127 В однофазного тока.

В установках с заземленной нейтралью вместо защитного заземления устраивают *зануление*. В производственном помещении прокладывают *магистраль зануления* из полосовой стали (см. рис. 4.7), металлически соединяемую с нулевой точкой генератора или трансформатора. Корпусы машин и аппаратов соединяют с магистралью зануления.

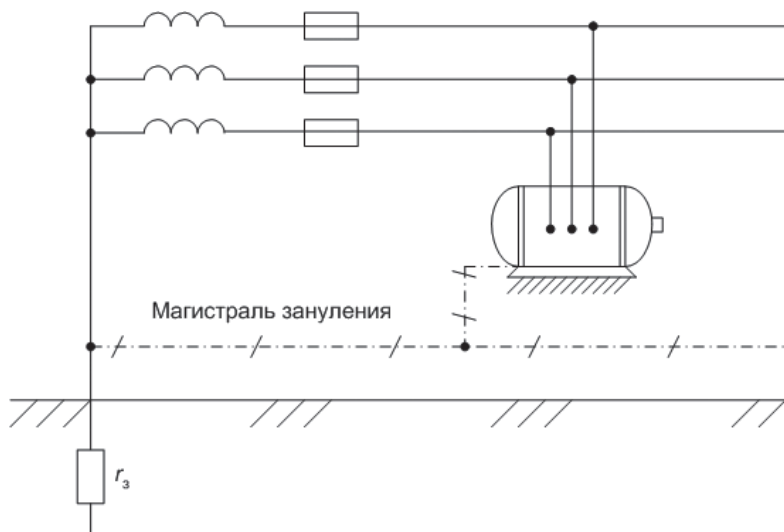


Рис. 4.7. Сеть с заземленной нейтралью

Наличие магистрали зануления обеспечивает достаточную безопасность персонала в случае появления напряжения на нетоковедущих частях. В случае порчи изоляции, например у электродвигателя, токоведущая часть двигателя соединится металлически с его корпусом, произойдет короткое замыкание (фазный провод — корпус — зануляющая магистраль), что приведет к перегоранию предохранителя, защищающего эту фазу, и поврежденный элемент установки будет выключен из сети.

4.5. Устройство заземлений и занулений

Согласно п. 1.7.53 ПУЭ защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока — во всех случаях.

Во взрывоопасных зонах любого класса подлежат занулению (заземлению) электроустановки при всех напряжениях переменного и постоянного тока.

При устройстве заземляющих устройств прежде всего необходимо использовать естественные заземлители.

Согласно п. 1.7.109 ПУЭ в качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

а) металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные

гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;

б) металлические трубы водопровода, проложенные в земле;

в) обсадные трубы буровых скважин;

г) металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, закладные части затворов и т. п.;

д) рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами;

е) другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения;

ж) металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле. Оболочки кабелей могут служить единственными заземлителями при количестве кабелей не менее двух. Алюминиевые оболочки кабелей использовать в качестве заземлителей не допускается!

Не допускается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей, трубопроводы канализации и центрального отопления.

Не следует использовать в качестве заземлителей железобетонные конструкции зданий и сооружений с предварительно напряженной арматурой, однако это ограничение не распространяется на опоры высоковольтных линий и опорные конструкции открытых распределительных устройств.

Искусственные заземлители могут быть из черной или оцинкованной стали или медными.

Искусственные заземлители не должны иметь окраски.

Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается!

У мест ввода заземляющих проводников в здания должен быть предусмотрен опознавательный знак .

Материал и наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле, должны соответствовать приведенным в таблице 4.5.

На рис. 4.8 показан пример выполнения сосредоточенного заземлителя.

Таблица 4.5

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	100	4
	Угловой	—	100	4
	Трубный	32	—	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	75	3
	Трубный	25	—	2
Медь	Круглый	12	—	—
	Прямоугольный	—	50	2
	Трубный	20	—	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	—

* Диаметр каждой проволоки

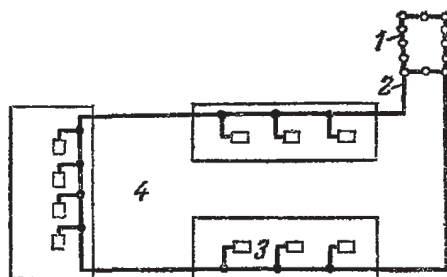


Рис. 4.8. Сосредоточенный заземлитель:

1 — заземлитель; 2 — заземляющая магистраль; 3 — заземляющие ответвления; 4 — помещение, в котором установлено электрооборудование

4.6. Методика расчета заземляющих устройств

Если сопротивление растеканию тока r_e естественного заземлителя, полученное измерением, окажется достаточным, другие заземлители не требуются. При недостаточном сопротивлении естественных заземлителей сопротивление искусственных заземлителей определяется по формуле:

$$r_{\text{иск.}} \leq \frac{r_e \cdot r_3}{r_e - r_3}, \quad (4.1)$$

где r_3 — требуемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства по ПУЭ.

При невозможности или нецелесообразности использования естественных заземлителей сопротивление искусственных заземлителей должно удовлетворять требованию $r_{\text{иск.}} \leq r_3$. Так как искусственные заземлители состоят из горизонтальных и вертикальных заземлителей, соединенных параллельно, то

$$r_{\text{иск.}} = \frac{r_{\text{в}} \cdot r_{\text{г}}}{r_{\text{в}} + r_{\text{г}}}, \quad (4.2)$$

где $r_{\text{в}}$ — сопротивление вертикальных заземлителей току растекания; $r_{\text{г}}$ — сопротивление горизонтальных заземлителей току растекания.

Сопротивление одиночного цилиндрического электрода может быть подсчитано по формуле:

$$r_{\text{о.в.}} = 0,36 \frac{\rho_{\text{расч.}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (4.3)$$

где $\rho_{\text{расч.}}$ — расчетное удельное сопротивление грунта (Ом·м); l — длина трубы или стержня (м); d — наружный диаметр трубы или стержня (м); t — глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины трубы или стержня (м).

Если одиночный заземлитель представляет обычно применяемую на практике трубу диаметром 0,05 м и длиной 2,5 м, забиваемую

на глубину 0,7 м (см. рис. 4.9), считая от поверхности земли до верха трубы ($t = 0,7 + 1,25 = 1,95$), то

$$r_{\text{о.т.}} \approx 0,3 \rho_{\text{расч.}} \quad (4.4)$$

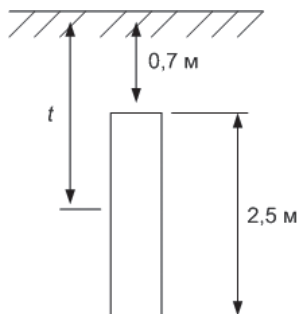


Рис. 4.9. Одиночный вертикальный заземлитель

Вместо труб могут быть использованы более дешевые заземлители из уголкового стали. Сопротивление растеканию таких электродов определяется по (4.3), путем введения вместо d эквивалентного диаметра заземлителя из уголкового стали d_y . Эквивалентный диаметр d_y уголовой стали рассчитывают исходя из активной поверхности растекания тока по формуле:

$$d_y = 0,95b, \quad (4.5)$$

где b — ширина полки уголка.

Если пользоваться упрощенной формулой (4.4), сопротивление одиночного электрода длиной 2,5 м получается равным:

– для уголовой стали $50 \times 50 \times 5$ мм:

$$r_{\text{о.у.}} = 0,318 \rho_{\text{расч.}}; \quad (4.6)$$

– для уголовой стали $60 \times 60 \times 6$ мм:

$$r_{\text{о.у.}} = 0,298 \rho_{\text{расч.}} \quad (4.7)$$

Сопротивление растеканию тока протяженных горизонтальных заземлителей (см. рис. 4.10) определяют по формулам:

$$r_{\text{о.п.}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{расч.}}}{l} \lg \frac{2l^2}{b \cdot t}; \quad (4.8)$$

$$r_{\text{о.кр.}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{расч.}}}{l} \lg \frac{2l^2}{d \cdot t}, \quad (4.9)$$

где $r_{\text{о.п.}}$ и $r_{\text{о.кр.}}$ — сопротивления полосового и круглого горизонтальных заземлителей (Ом).

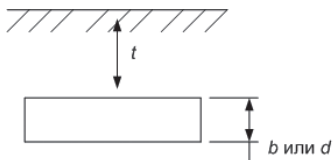


Рис. 4.10. Одиночный горизонтальный заземлитель

Обычно устраивают сложные заземлители из нескольких (а иногда из большого количества) вертикальных электродов, которые соединяют параллельно металлической полосой, также являющейся электродом. Электроды такого заземлителя располагают на расстоянии друг от друга, обычно равном 1–3 длинам электрода, из-за чего возникает так называемое взаимное экранирование электродов. Явление экранирования происходит в результате наложения электрических полей при растекании тока в землю. Сопротивление каждого электрода при этом растет. Экранирование приводит к существенно увеличению их сопротивления.

Сопротивление растеканию тока n вертикальных электродов с учетом их экранирующего влияния определяют по формуле:

$$r_{\text{в}} = \frac{r_{\text{о.в.}}}{n \cdot \eta_{\Gamma}}, \quad (4.10)$$

где $r_{\text{о.в.}}$ — сопротивление одиночного вертикального заземлителя (формулы 3–7); η_{Γ} — коэффициент использования вертикальных заземлителей (см. таблицу 4.6).

Таблица 4.6

Коэффициенты использования вертикальных заземлителей η_v
и горизонтальных соединительных полос η_r

Количество вертикальных заземлителей	Отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине a/l					
	1		2		3	
	η_v	η_r	η_v	η_r	η_v	η_r
<i>При расположении полос по периметру замкнутого круга</i>						
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64
8	0,58	0,36	0,71	0,43	0,78	0,60
10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45
30	0,43	0,24	0,60	0,30	0,68	0,41
50	0,40	0,21	0,56	0,28	0,66	0,37
70	0,38	0,20	0,54	0,26	0,64	0,35
100	0,35	0,19	0,52	0,24	0,62	0,39
<i>При расположении полос в ряд</i>						
3	0,78	0,80	0,86	0,92	0,91	0,95
4	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92
5	0,70	0,74	0,81	0,86	0,87	0,90
6	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88
10	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82
15	0,54	0,50	0,70	0,64	0,78	0,74
20	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68
30	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58

Сопротивление растеканию тока горизонтальных полос, связывающих вертикальные заземлители, с учетом экранирующего влияния полос находят по формуле:

$$r_{г.п.} = \frac{r_{о.п.}}{\eta_r}, \quad (11)$$

где $r_{\text{о. п.}}$ — сопротивление горизонтальной соединительной полосы без экранирующего влияния на нее (см. формулы 4.8 и 4.10); η_r — коэффициент использования горизонтальных соединительных полос (см. таблицу 4.6).

Сопротивление всего заземляющего устройства определяют по (4.2).

Перед расчетом заземляющих устройств следует измерить удельное сопротивление грунта в реальных условиях на площадке, предназначенной для сооружения заземлителя. Удельное сопротивление грунта, полученное измерением, умножают на коэффициент K , учитывающий климатические условия перед измерением (см. таблицу 4.7):

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{изм.}} \cdot K.$$

Для средней полосы России применяют:

- K_1 — в том случае, если грунт влажен и измерениям предшествовали большие осадки;
- K_2 — если грунт средней влажности и измерениям предшествовали небольшие осадки;
- K_3 — если грунт сухой и перед измерениями не было осадков.

Таблица 4.7

Коэффициент K , учитывающий климатические условия перед измерением

Тип заземлителей	Глубина залегания, м	Повышающие коэффициенты		
		K_1	K_2	K_3
Поверхностный	0,5	6,5	5,0	4,5
То же	0,8	3,0	2,0	1,6
Углубленный (труба, уголок, стержень)	0,8	2,0	1,5	1,4

Ориентировочные значения удельного сопротивления грунта приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Удельное сопротивление грунта

Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом·м	
	возможные пределы колебаний	при влажности 10–20 % к массе
Глина	8–70	40
Суглинок	40–150	100
Песок	400–700	700
Супесок	150–400	300
Торф	10–30	20
Чернозем	9–53	20

Проиллюстрируем расчет заземления следующим примером.

Пример 4.1. Определить соответствие защитного заземления передвижной электростанции полевого стана, вырабатывающей трехфазное напряжение 380 В, требованиям пожарной безопасности и ПУЭ. В качестве искусственного заземлителя используются четыре стальные трубы, забитые в грунт на глубине 0,7 м от поверхности диаметром 0,05 м, длиной 2,5 м, соединенные параллельно горизонтальной стальной полосой шириной 0,05 м. Расстояние между расположенными по контуру трубами 7,5 м. Грунт представляет собой сухой чернозем средней полосы России с измеренным удельным сопротивлением 49 Ом·м.

Решение:

1) Определяем расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатических условий перед измерениями:

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{изм.}} \cdot K_z = 49 \cdot 1,4 = 68,6 \text{ (Ом·м)}.$$

2) Определяем сопротивление одиночного вертикального заземлителя:

$$r_{\text{о.т.}} \approx 0,3 \rho_{\text{расч.}} = 0,3 \cdot 68,6 = 20,58 \text{ (Ом)}.$$

3) В таблице 4.6 находим коэффициент использования вертикальных стержней $\eta_b = 0,85$.

4) Определяем сопротивление растеканию тока вертикальных электродов:

$$r_{\text{в}} = \frac{r_{\text{о. в.}}}{n \cdot \eta_{\Gamma}} = \frac{20,58}{4 \cdot 0,85} = 6,05 \text{ (Ом)}.$$

5) Определяем сопротивление одиночного горизонтального заземлителя:

$$r_{\text{о. п.}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{расч.}}}{l} \lg \frac{2l^2}{b \cdot t} = 0,366 \frac{68,6}{30} \lg \frac{2 \cdot 30^2}{0,05 \cdot 0,7} = 3,943 \text{ (Ом)}.$$

6) В таблице 4.6 находим коэффициент использования горизонтальной полосы $\eta_{\Gamma} = 0,70$.

7) Определяем сопротивление растеканию тока горизонтальной полосы, связывающей вертикальные заземлители с учетом экранирующего влияния:

$$r_{\Gamma. \text{ п.}} = \frac{r_{\text{о. п.}}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{3,944}{0,70} = 5,63 \text{ (Ом)}.$$

8) Определяем сопротивление всего заземляющего устройства:

$$r_{\text{иск.}} = \frac{r_{\text{в}} \cdot r_{\Gamma}}{r_{\text{в}} + r_{\Gamma}} = \frac{6,05 \cdot 5,63}{6,05 + 5,63} = 2,81 < 4 \text{ (Ом)}.$$

9) Принятый вариант защитного заземления соответствует требованиям пожарной безопасности и ПУЭ.

4.7. Упражнения

4.1. Определить соответствие защитного заземления переносного бензоэлектрического агрегата, вырабатывающего однофазное напряжение 220 В, требованиям пожарной безопасности и ПУЭ.

В качестве искусственного заземлителя используется стальная труба, забитая в грунт на глубине 0,7 м от поверхности, диаметром 0,025 м, длиной 2,5 м. Грунт представляет собой суглинок средней полосы России с измеренным удельным сопротивлением 57 Ом·м. Измерениям предшествовали небольшие осадки.

4.2. Определить соответствие защитного заземления электропомещения, оборудование которого запитано от трехфазной сети с напряжением 380 В, требованиям пожарной безопасности и ПУЭ. В качестве искусственного заземлителя используются восемь стальных труб, забитых в грунт на глубине 0,7 м от поверхности, диаметром 0,05 м, длиной 2,5 м, соединенных параллельно горизонтальной стальной полосой шириной 0,05 м. Расстояние между расположенными по контуру трубами 9,5 м. Грунт представляет собой супесок средней полосы России с измеренным удельным сопротивлением 214 Ом·м. Измерениям предшествовали большие осадки.

4.8. Вопросы для повторения

1. Перечислите мероприятия, обеспечивающие пожарную безопасность электросиловых установок.
2. Перечислите, какие изготавливаются взрывозащищенные электродвигатели по виду взрывозащиты (конструктивным особенностям).
3. Перечислите существующие виды освещения и приведите их назначение.
4. Перечислите существующие виды аварийного освещения и приведите их назначение.
5. Какие светильники должны применяться в пожароопасных зонах?
6. Какие светильники должны применяться во взрывоопасных зонах?
7. Какие коммутационные и защитные аппараты должна содержать первичная цепь каждой электротермической установки?
8. Что должно сооружаться под маслonaполненным оборудованием печных подстанций?
9. Какое оборудование электротермических установок допускается размещать во взрывопожароопасных и наружных зонах помещений?
10. К какому виду работ относится электродуговая сварка?

11. Объясните, чем определяется пожарная опасность на местах электродуговой сварки.

12. Что должна содержать первичная цепь электросварочной установки?

13. Как должно осуществляться присоединение переносной или передвижной электросварочной установки непосредственно к стационарной электрической сети?

14. Что следует делать с выводом вторичной цепи источника сварочного тока, соединяемым проводником (обратным проводом) с изделием, в котором дуга горит между электродом и электропроводящим изделием?

15. Чем должны быть снабжены электросварочные установки, в которых по условиям электротехнологического процесса не может быть выполнено заземление, а также переносные и передвижные электросварочные установки, заземление оборудования которых представляет значительные трудности?

16. Когда допускается располагать сварочные посты во взрыво- и пожароопасных зонах?

17. Допускается ли при проведении сварочных работ использование в качестве обратного провода металлических строительных конструкций зданий, трубопроводов и технологического оборудования? А проводников сети заземления?

18. Какие помещения различают в отношении опасности поражения людей электрическим током?

19. Что называют электрической травмой?

20. Что называют электрическим ударом?

21. Что применяется для защиты людей от поражения электрическим током?

22. Перечислите то, что может быть использовано в качестве естественных заземлителей.

Глава 5

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ СТАТИЧЕСКОГО И АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

5.1. Электрические характеристики искрового промежутка

Электростатические заряды могут возникать: при соприкосновении или трении твердых материалов; при размельчении или пересыпании однородных и неоднородных материалов — диэлектриков; при разбрызгивании диэлектрических жидкостей; при транспортировании сыпучих веществ и жидкостей по трубам; при фильтрации жидкостей и т. д.

Практически статическая электризация проявляется при работе ременных передач и ленточных транспортеров; при перематывании и обработке тканей, бумаги, полимерных пленок; при размоле и просеивании сыпучих материалов; при движении нефтепродуктов по трубопроводам с некоторой скоростью; в процессе слива, налива и перекачивания нефтепродуктов из одной емкости в другую и т. п.

Потенциалы на приводном ремне могут достигать значений 40–50 кВ, на тканях — до 15 кВ, на бумаге — до 20 кВ, что существенно зависит от скорости их движения и влажности воздуха. При влажности воздуха 85 % и выше электростатическая электризация не наблюдается.

Движение диэлектрических жидкостей (нефтепродуктов) по трубам в некоторых условиях может сопровождаться интенсивной электризацией, которая создает опасность воспламенения их паров во время возникновения разрядов. Генерация электростатических зарядов возможна при заполнении резервуаров диэлектрическими жидкостями в результате разбрызгивания при заполнении резервуара свободно падающей струей.

Электрические заряды на частях производственного оборудования могут взаимно нейтрализоваться благодаря некоторой электрической проводимости воздуха (особенно влажного). В ряде случаев при малой влажности воздуха, когда на частях производственного оборудования образуются значительные электростатические заряды, может произойти искровой разряд системы. При этом энергии

искры может оказаться достаточно для воспламенения горючей или взрывоопасной смеси.

Электростатический разряд может прямо или косвенно привести к выходу из строя полупроводниковых приборов электронных систем и т. п.

В ряде случаев возникающая статическая электризация тела человека и затем последующие разряды с человека на землю или заземленное производственное оборудование, а также электрический разряд с незаземленного оборудования через тело человека на землю могут вызвать нежелательные болевые и нервные ощущения и быть причиной непроизвольного резкого движения человека, в результате которого человек может получить ту или иную механическую травму (падение, ушибы, ранение).

В реально протекающем электростатическом разряде разрядная дуга возникает тогда, когда заряженное тело достигает близкой окрестности проводящего тела. Характеристики электростатического разряда во многом определяются окружающей средой, и, как уже отмечалось, в частности, влажностью.

Электрически дуговой разряд можно представить как изменяющиеся во времени соединенные последовательно активное сопротивление и индуктивность. Среднее значение индуктивности дуги — около одного наногенри; среднее значение активного сопротивления — порядка одного ома.

Чаще всего активное сопротивление и индуктивность дуги рассматриваются как пассивные элементы цепи, не изменяющиеся во времени. Это вызвано тем, что непосредственные измерения различных параметров, связанных с воздушным разрядом, обычно затруднительны, поскольку измерительная система легко может изменить исходную окружающую среду разряда. Вот почему такой подход упрощает нахождение разрядного тока и позволяет сравнивать оптические и электрические характеристики дуги.

Если форма разряда представляется в виде цилиндра радиуса r , расположенного между двумя электродами, то зависящий от времени радиус канала дуги в миллиметрах может быть оценен по:

$$r = \rho_0 I t,$$

где I — ток в килоамперах; t — время в микросекундах и ρ_0 — плотность воздуха при атмосферном давлении ($1,29 \times 10^{-3}$ г/см³).

На рис. 5.1 показана типичная форма волны разрядного тока при апериодическом отклике и фиксированной длине искрового промежутка, равной 0,75 мм для двух случаев положительного и отрицательного разрядов.

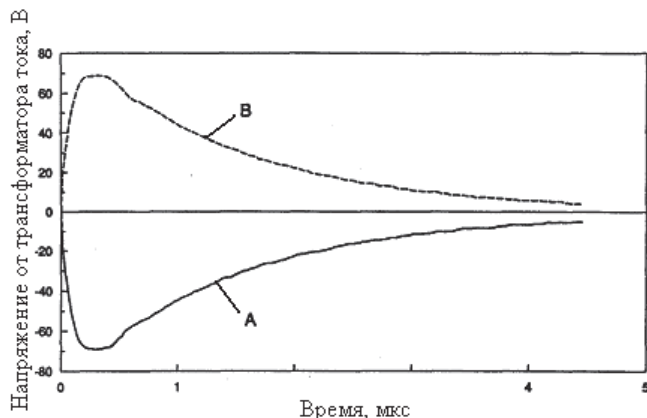


Рис. 5.1. Типичные формы волны тока для положительных и отрицательных апериодических откликов. Длина промежутка: 0,75 мм; напряжение промежутка: 4,4 кВ. А — отрицательный разряд; В — положительный разряд

На рис. 5.2 показана типичная форма волны разрядного тока при периодическом затухающем отклике и фиксированной длине искрового промежутка, равной 0,1875 мм для случаев положительного и отрицательного разрядов.

Как видно из этих графиков, полярность разряда имеет пренебрежимо малое значение.

На рис. 5.3 показаны формы волн разрядного тока для трех разных длин искрового промежутка и напряжений пробоя при апериодическом отклике и следующих условиях окружающей среды: температура в пределах $23^{\circ}\text{C} \div 23,1^{\circ}\text{C}$; относительная влажность в пределах $43,5 \% \div 43,9 \%$. Эквивалентная схема разрядной цепи представляет собой систему из последовательно соединенных элементов дуги R , L и емкости $C = 0,164 \mu\text{F}$ заряженного и проводящего тел.

Для затухающего *периодического* отклика $R^2 < 4L/C$ и разрядный ток представляет собой экспоненциально затухающую синусоиду вида:

$$i(t) = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega t),$$

где $A = \frac{U}{\omega L}$; $\alpha = \frac{R}{2L}$.

Измерение постоянной времени разряда позволяет вычислить включенное последовательно сопротивление дуги R из $\tau = \frac{1}{\alpha} = \frac{2L}{R}$. Индуктивность разряда в искровом промежутке находится как

$$L_{arc}(t) = \frac{l}{\sqrt{2a \int_0^t i^2(t) dt}},$$

где l — длина дуги (м); a — эмпирический коэффициент 10^4 ($\text{м}^2/\text{В}^2 \cdot \text{сек}^2$); $i(t)$ — разрядный ток (А).

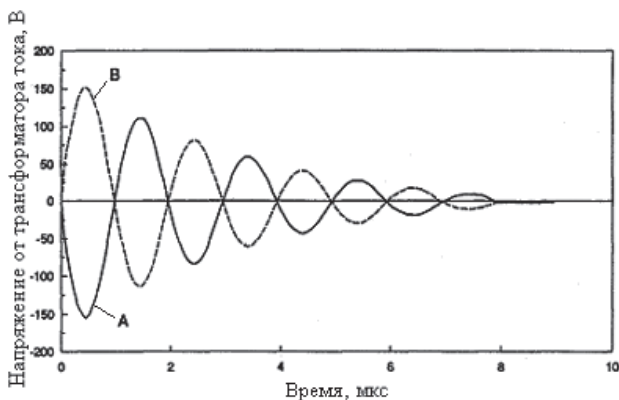


Рис. 5.2. Типичные формы волны тока для положительных и отрицательных периодических затухающих откликов. Длина промежутка: 0,1875 мм; напряжение промежутка: 2,0 кВ. А — отрицательный разряд; В — положительный разряд

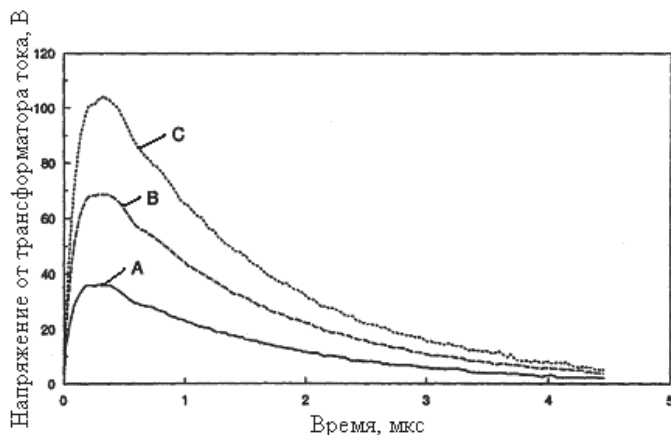


Рис. 5.3. Зависимость тока от времени при положительных апериодических откликах для различных длин промежутка и напряжений пробоя. А — промежуток = 0,25 мм; $V = 2,3$ кВ; В — промежуток = 0,75 мм; $V = 4,4$ кВ; С — промежуток = 1,25 мм; $V = 6,4$ кВ

Интенсивность света от разряда пропорциональна рассеиваемой в нем мощности. В первом приближении, при допущении, что сопротивление разряда постоянно,

$$P = Ri^2 = RA^2 e^{-2\alpha t} \sin^2(\omega t).$$

Для *апериодического* отклика $R^2 > 4L/C$ и разрядный ток является суммой двух имеющих место затухающих экспоненциальных откликов вида:

$$i(t) = K_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + K_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}},$$

где

$$\frac{1}{\tau_1} = \frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}},$$

$$\frac{1}{\tau_2} = \frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

и

$$K_1 = \frac{V}{2L} \frac{1}{\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}}.$$

Интенсивность света от разряда пропорциональна рассеиваемой мощности на сопротивлении R дуги, которое предполагается неизменным.

Для напряжения пробоя, например $V = 6,4$ кВ, значение пикового тока составляет 589,3 А. (Наблюдаемое пиковое напряжение от трансформатора тока, соответствующее указанному току, как видно из рис. 5.3, равно 104,3 В, при чувствительности трансформатора тока 0,177 В/А.) Измеренное время до пикового значения от начала разряда составляет 0,327 пикосекунд. Именно этот результат и наблюдается на рис. 5.3.

Отметим, что емкость $C = 0,164$ мкФ, используемая здесь для снятия качественной картины разряда, по величине на несколько порядков больше емкости, обычно ассоциируемой с электростатическим разрядом. В экспериментальных методах, использующих, например, модели тела человека, применяют емкость порядка 100 пикофард.

Для принятой электрической прочности воздуха, равной 30 кВ/см, и при заданном расстоянии l может быть вычислен потенциал пробоя.

С целью обеспечить более точную оценку напряжения пробоя обычно анализируются искровые промежутки между сферическими электродами одинакового диаметра.

Градиент пробоя воздуха как функция произведения плотности газа, помноженной на интервал промежутка для электродов с *однородным* полем, находится как:

$$E_s = 2,11 \cdot S \cdot g + \frac{2,11}{S \cdot g}, \quad (5.1)$$

где E_s — градиент пробоя в кВ/мм; g — интервал промежутка, мм; S — относительная плотность газа,

$$S = \frac{P}{1,013} \times \frac{293}{T};$$

P — давление газа в абсолютных барах и T — температура в градусах Кельвина.

При нормальной рабочей температуре (20 °С) S может оцениваться как давление газа в абсолютных атмосферах (1 атм. = 1,013 бар; 1 бар = $1,01325 \times 10^5$ Н/м²).

Для электродов с *простой* геометрией параметром, который может быть точно вычислен, является утилизационный коэффициент η , которым называется отношение среднего градиента к максимальному (E_{AV}/E_{MAX}) в области минимального расстояния между проводниками. Средний градиент E_{AV} представляет собой приложенное напряжение, деленное на расстояние между электродами; максимальный градиент E_{MAX} определяется в момент пробоя уравнением для E_S . Обратное отношение $E_{MAX}/E_{AV} = 1/\eta$ называется коэффициентом повышения поля. Значения утилизационного коэффициента приведены в таблице 5.1. В таблице d — диаметр сферы.

Таблица 5.1

Утилизационные коэффициенты

$((d/2)+g)/(d/2)$	η
1,1	0,9675
1,2	0,9361
1,3	0,9038
1,4	0,8697
1,5	0,8340

В момент пробоя напряжение на электродах:

$$V_S = \eta \cdot g \cdot E_S.$$

В качестве иллюстрации оценки напряжения пробоя искрового промежутка рассмотрим следующий пример.

Пример 5.1. Определить напряжение пробоя искрового промежутка между двумя сферами диаметром $d = 12,5$ мм. Расстояние между сферами $g = 1,25$ мм. Условия окружающей среды нормальные.

Решение.

1) Определим градиент пробоя воздуха с учетом того, что при нормальных условиях $S = 1$:

$$E_s = 2,11 \cdot S \cdot g + \frac{2,11}{S \cdot g} = 2,11 \cdot 1 \cdot 1,25 + \frac{2,11}{1 \cdot 1,25} = 4,33 \text{ (кВ/мм)}.$$

2) Вычислим вспомогательную величину $((d/2)+g)/(d/2)$:

$$\frac{d/2 + g}{d/2} = \frac{12,5/2 + 1,25}{12,5/2} = 1,2.$$

3) По таблице 5.1 для $((d/2)+g)/(d/2) = 1,2$ находим утилизационный коэффициент:

$$\eta = 0,9361.$$

4) Определяем напряжение пробоя:

$$V_s = \eta \cdot g \cdot E_s = 0,9361 \cdot 1,25 \cdot 4,33 = 5,07 \text{ (кВ)}.$$

Электростатическая искробезопасность объекта защиты выражается энергией разряда статического электричества W , который может возникнуть внутри объекта или с его поверхности. Электростатическая искробезопасность объекта защиты достигается при условии выполнения соотношения:

$$W < KW_{\min},$$

где W — энергия разряда, который может возникнуть внутри объекта или с его поверхности, Дж; K — коэффициент безопасности, выбираемый из условий допустимой (безопасной) по ГОСТ 12.1.004-89, ГОСТ 12.1.010-76 вероятности зажигания или принимаемый равным 0,4; $W_{\min}$ — минимальная энергия зажигания.

За энергию разряда статического электричества допускается принимать энергию, выделяющуюся на участке искрового канала длиной l , соответствующую длине разрядного промежутка, при

котором определена чувствительность объекта защиты к зажигающему воздействию разрядов статического электричества.

Для газо- и паровоздушных смесей допустимо принимать

$$l \geq 2S_0,$$

где S_0 — безопасный экспериментальный зазор.

Для пылевоздушных смесей допускается применять длину участка l , установленную по методу определения минимальной энергии зажигания в ГОСТ 12.1.044-89.

Минимальную энергию зажигания указывают в стандартах и технических условиях на вещества и материалы, а также в системах стандартных справочных данных.

Средства электростатической защиты должны исключать возникновение искровых разрядов статического электричества с энергией, превышающей 40 % от минимальной энергии зажигания окружающей среды, или с величиной заряда в импульсе, превышающей 40 % от воспламеняющего значения заряда в импульсе для окружающей среды.

Электростатическую искробезопасность объектов защиты следует обеспечивать снижением электростатической искроопасности и их чувствительности (увеличением $W_{\min}$) к зажигающему воздействию разрядов статического электричества. Другими словами, электростатическая искробезопасность должна обеспечиваться устранением разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания огнеопасных веществ.

5.2. Устранение опасности возникновения электростатических зарядов

Меры подавления электростатических зарядов имеют целью предупредить опасность пожара или взрыва вследствие воспламенения горючих и взрывоопасных смесей от искр электростатических разрядов, а также защитить обслуживающий производственный персонал от нежелательного воздействия токов разряда на организм (ощущение укола, судороги, боли). Защитные меры регламентированы. Они направлены на предупреждение возникновения и накопления зарядов и создания условий рассеивания зарядов.

Для обеспечения электростатической искробезопасности необходимо выполнять требования ГОСТ 12.1.018-93 «Пожаровзрывобезопасность статического электричества», требования соответствующей нормативно-технической документации, а средства защиты должны соответствовать ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества».

К основным мерам защиты относятся: заземление металлических объектов оборудования и коммуникаций; увеличение проводимости веществ и материалов, генерирующих заряды; снижение интенсивности возникновения зарядов; нейтрализации зарядов; отвод электростатических зарядов, образующихся на людях.

Заземление оборудования устраняет формирование электрических зарядов и разряд их с проводящих элементов оборудования на землю. Заземлять следует не только те части оборудования, которые участвуют в генерировании зарядов, но и все другие изолированные от земли проводники, которые могут зарядиться вследствие электростатической индукции. Заземлять следует смесители, вальцы, каландры, компрессоры, насосы, фильтры, сушилки, сублиматоры, абсорберы, реакторы, мельницы, транспортеры, сливно-наливные устройства и т. п. Сопротивление заземляющего устройства (учитывая малые токи утечки) допускается не выше 100 Ом. Заземление для защиты от электростатических разрядов рекомендуется объединять с заземлением электроустановок и молниезащиты.

Все соединения в заземляющем устройстве, как правило, должны выполняться сваркой. Каждую систему аппаратов и трубопроводов в пределах цеха следует заземлять не менее чем в двух местах. То же относится и к резервуарам вместимостью более 50 м³. Обязательному заземлению подлежат стояки наливных эстакад, рельсы в пределах сливного фронта, а также цистерны или наливные суда, находящиеся под наливом (сливом) сжиженных горючих газов и пожароопасных жидкостей.

Резиновые шланги с металлическими наконечниками для налива жидкостей в цистерны, наливные суда, бочки и т. п. следует заземлять *медной* проволокой, навитой снаружи или внутри шланга, с припайкой одного ее конца к металлическим частям продуктопровода, а другого — к наконечнику шланга.

Для выравнивания потенциалов и предотвращения искрения все параллельно расположенные трубопроводы в цехах и каналах

на расстоянии до 10 см друг от друга соединяют перемычками через каждые 20–25 м.

Если заземлением оборудования не удастся предотвратить накопление зарядов, то рекомендуется принять меры по уменьшению объемных и поверхностных сопротивлений обрабатываемых материалов, генерирующих заряды. Это достигается повышением относительной влажности окружающего воздуха сверх 65 % и самого материала, химической обработкой, применением антистатических присадок, нанесением электропроводящих пленок.

Для увеличения проводимости диэлектриков в них вводят растворимые присадки. В жидкие диэлектрики вводят до 0,01 % солей высших карбоновых, нафтенowych и синтетических жирных кислот, отчего значительно повышается их удельная объемная проводимость. Антиэлектростатические вещества должны обеспечивать снижение удельного объемного электрического сопротивления материала до величины 10^7 Ом·м, удельного поверхностного электрического сопротивления до величины 10^9 Ом.

Снижение интенсивности возникновения электростатических зарядов достигается соответствующей оптимальной скоростью движения веществ, исключением разбрызгивания, распыления, подбором поверхностей трения, очисткой горючих жидкостей и газов от примесей. Безопасные скорости транспортировки жидкости и пылевидных веществ в зависимости от удельного объемного электрического сопротивления нормируются.

Налив жидкостей в резервуары, цистерны и тару свободно падающей струей не допускается. Сливную трубу следует удлинить до дна приемного сосуда и направить струю жидкости вдоль стенки. При первоначальном заполнении резервуаров жидкость подают с пониженной скоростью около 0,5–0,7 м/с.

Нейтрализация зарядов может осуществляться путем ионизации воздуха, разделяющего заряженные тела. Ионизаторы воздуха могут применяться индукционные, высоковольтные, радиоизотопные и комбинированные.

Индукционные ионизаторы вследствие индукции создают вблизи заряженного тела электрическое поле большой напряженности; при этом вблизи электродов ионизаторов образуется коронный разряд, ионизирующий воздух. Образовавшиеся ионы воздуха притягиваются к поверхности заряженного тела и нейтрализуют

его заряд. Индукционные ионизаторы выполняют в виде несущих стержней, на которых укреплены иглообразные, щеточные или проволочные электроды.

На электроды высоковольтных ионизаторов подается переменное напряжение промышленной или высокой частоты 4–15 кВ либо выпрямленное напряжение. В качестве примера на рис. 5.4 приведена одна из типичных конструктивных схем высоковольтного нейтрализатора.

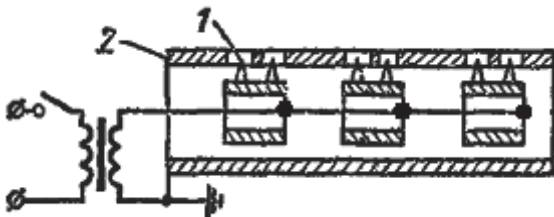


Рис. 5.4. Конструктивная схема высоковольтного нейтрализатора:
1 — игла-электрод; 2 — металлическая оболочка-электрод

Радиоизотопные нейтрализаторы применяются во взрывоопасных производствах химической промышленности, в установках производства лавсановой и полиэтиленовой пленки, бумаги, тканей. Они просты в конструктивном отношении и не требуют источников электропитания. Наибольшей ионизирующей способностью обладают нейтрализаторы с α -излучением. Глубина проникновения α -частиц в воздухе около 2,5–3,5 см, что делает безопасным применение этого вида излучения для обслуживающего персонала.

На рис. 5.5 в качестве примера изображен схематически нейтрализатор на основе Pu^{239} .

В комбинированных нейтрализаторах в общем кожухе совмещены радиационный и индукционный нейтрализаторы.

В аэродинамических нейтрализаторах ионы, полученные в ионизирующей камере, подаются в зону нейтрализации потоком воздуха.

Радиоизотопные нейтрализаторы должны быть снабжены блокирующим устройством, закрывающим источник радиоактивного излучения в нерабочем состоянии.

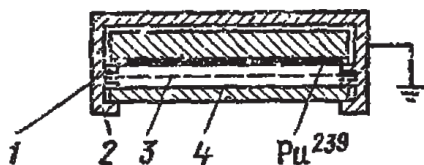


Рис. 5.5. Конструкция радиоактивного нейтрализатора на основе Pu^{239} :

1 — активный препарат; 2 — металлический контейнер;

3 — металлическая сетка; 4 — экран

На корпусах радиоизотопных нейтрализаторов должны быть изображены знаки радиационной безопасности.

Нейтрализаторы должны соответствовать требованиям санитарно-гигиенических норм допустимых уровней ионизации воздуха в производственных и общественных помещениях, норм радиационной безопасности, основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

Отвод электростатических зарядов с тела человека осуществляется путем устройства электропроводящих полов, помостов, рабочих площадок, заземления ручек дверей, поручней лестниц, рукояток приборов и аппаратов, а также обеспечением работающих токопроводящей обувью, антистатическими халатами.

Для изготовления антиэлектростатической специальной одежды должны применяться материалы с удельным поверхностным сопротивлением не более 10^7 Ом. Электрическое сопротивление между токопроводящим элементом антиэлектростатической специальной одежды и землей должно быть от 10^6 до 10^8 Ом. Электрическое сопротивление между подпятником и ходовой стороной подошвы обуви должно быть от 10^6 до 10^8 Ом. Антиэлектростатические кольца и браслеты должны обеспечивать сопротивление в цепи человек — земля от 10^6 до 10^7 Ом.

5.3. Молния и ее опасность

Удар молнии в землю — это электрический разряд атмосферного происхождения между грозовым облаком и землей, состоящий из одного или нескольких импульсов тока.

Появлению разряда предшествует накопление и разделение электрических зарядов в грозовом облаке, чему способствуют аэродинамические и термические процессы: восходящие воздушные потоки, конденсация паров на высоте от 1 до 6 км, образование капель, их дробление.

Облака заряжаются в основном отрицательными зарядами благодаря трению кристаллов льда, водяной пыли и других частиц, из которых состоит облако, о восходящие потоки теплого воздуха.

Согласно разработанной в середине 1960-х годов английским ученым Ф. Уэнтом теории возникновения гроз, в происхождении последних немаловажную роль, вероятно, играет растительность, которая выделяет в атмосферу большое количество эфирных масел. Они разлагаются с образованием ионов, которые заряжают облака. Возможно, этим и объясняется то, что грозы бывают лишь в тех местах, где есть растительность, и их почти не бывает в пустынях, над океаном, в полярных областях. В умеренных широтах сезон гроз начинается весной с появлением зелени и кончается осенью с ее увяданием.

Заряженное грозовое облако образует одну из обкладок гигантского конденсатора, другой обкладкой которого является земля.

Нормально, при существовании электрического поля земли с напряженностью E_n , земля заряжена отрицательно с поверхностной плотностью δ_- . Под действием E_n молекулы капелек воды грозового облака, представляющие собой диполи, ориентируются вдоль силовых линий электрического поля, и капельки воды поляризуются. В нижней части капелек появляется положительный заряд, а в верхней — отрицательный. Такая ориентация полярности приводит к тому, что в средней части облака заряды капелек взаимно компенсируют друг друга, и средняя часть облака оказывается почти нейтральной. Однако по верхнему и нижнему краям облака заряды оказываются не скомпенсированы. Движущиеся в восходящем потоке воздуха электроны и отрицательно заряженные ионы в силу электростатического притяжения концентрируются в нижней части облака, а положительные ионы сосредотачиваются в его верхней части. В результате нижняя часть облака получает суммарный отрицательный заряд со значительной объемной плотностью. (Заметим, что это слишком упрощенная модель. В действительности конвекционные потоки постоянно перемешивают заряды и в области зарядов одной полярности находятся и небольшие объемные заряды другой

полярности.) Внутри облака образуется электрическое поле с напряженностью $E_{об}$ между распределенными разнополярными зарядами. Нижняя часть индуцирует на поверхности земли положительный заряд с плотностью δ_+ , и появляется местное грозовое электрическое поле с напряженностью E_r , достигающей иногда 100–200 кВ/м. Там, где плотность зарядов особенно велика, в частности у остроконечных предметов (вершин деревьев, мачт линий электропередач, шпилей на зданиях и т. д.) эта напряженность значительно больше, что является причиной коронного (светящегося) разряда (огни святого Эльма).

По мере накопления зарядов, когда напряженность электрического поля вблизи нижней части облака достигает критического значения 25–30 кВ/см, создаются условия для развития разряда (молнии). Разряд между облаком и землей обычно начинается с прорастания от облака к земле слабо светящегося канала с током в несколько сотен ампер — лидера, движущегося толчками со средними скоростями около 1 м/мкс с паузами между толчками в 30–90 мкс (см. рис. 5.6). Длина каждой ступени прорастания лидера — около 50 м. Лидер окружен обширной зоной ионизации, которая заполняется зарядами, стекающими из облака. Вследствие неоднородности воздуха (наличие объемных зарядов, проводящих частиц и т. д.) лидер может иметь самую разнообразную форму ветвистости.

Обычно лишь одна из ветвей лидера достигает земли. При приближении «головки» лидера к земле на его траекторию начинают оказывать влияние возвышающиеся наземные объекты.

Вследствие электростатической индукции на вершинах этих объектов происходит концентрация зарядов противоположного знака по отношению к зарядам лидера.

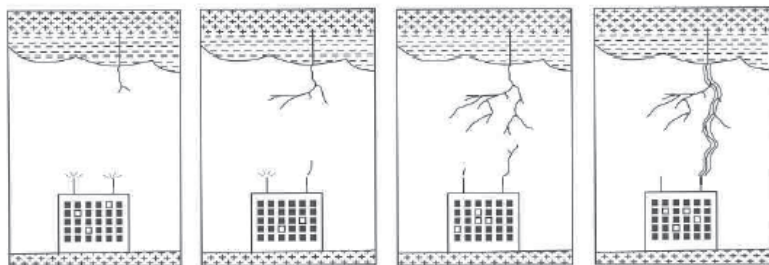


Рис. 5.6. Развитие разряда молнии

Это способствует повышению напряженности электрического поля у этих объектов, и с них начинает развиваться встречный разряд — *встречный стример*. Зона ионизации встречного стримера заполняется зарядами, стекающими с наземного объекта. Когда лидер и встречный стример соприкасаются, начинается *главная стадия разряда*. Во время этой стадии происходит нейтрализация зарядов в основном в зоне ионизации лидера. Процесс этот распространяется в направлении от земли к облаку и сопровождается сильным свечением канала разряда, вызванного высокой температурой в канале молнии. Благодаря высокой температуре воздух в канале молнии быстро, со взрывом, расширяется. Так возникает гром. Гром продолжается и после прекращения разряда, когда после охлаждения канала молнии воздух резко сжимается. По каналу в течение очень короткого времени (до 100 мкс) протекает весьма большой ток, пиковое значение которого может достигать 250 кА. *Главный разряд* завершается тогда, когда зона интенсивного свечения достигает облака и яркость канала молнии резко уменьшается. Главный разряд приводит к резкому возрастанию проводимости канала молнии. Через этот канал по завершении главного разряда стекают остаточные заряды лидера и облака, образуя длительный ток послесвечения величиной от 1000 до 10 А.

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений 1 км² земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта.

Если же плотность ударов молнии в землю N_g неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле, 1/(км²·год):

$$N_g = \frac{6,7 \cdot T_d}{100},$$

где T_d — средняя продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

Карта районирования территории РФ по среднегодовой продолжительности гроз в часах приведена в ПУЭ на рис. 2.5.3. На карте размечены области, где наблюдается одна и та же грозовая деятельность. Диапазон ее изменения довольно велик и зависит от климатических факторов и рельефа местности. В северных областях (Мурманск, Камчатка) она составляет менее 10 часов в год,

для районов на широте 50–55° она колеблется от 20 до 80 ч, а на юге (Кавказ) она может достигать 100 и более часов в год. Да и в пределах одного района с низкой грозовой активностью встречаются участки с резко повышенным числом грозовых часов в год.

По степени воздействия молнии на окружающие объекты различают *первичное воздействие*, или *прямой удар*, и *вторичные воздействия*. Прямой удар молнии характеризуется непосредственным контактом канала молнии со зданием или сооружением и сопровождается протеканием через него тока молнии. Вторичные воздействия объясняются электростатической и электромагнитной индукцией, а также заносом высоких потенциалов через надземные и подземные металлические коммуникации, что является следствием прямого удара молнии. Вторичные воздействия создают опасность искрения внутри защищаемого объекта.

Кроме линейных молний во время грозы возникают еще так называемые *шаровые молнии*. Они представляют собой огненные тела в форме арбуза или груши диаметром от 10 до 20 сантиметров. Длительность существования шаровой молнии — от долей секунды до нескольких десятков секунд. Природа шаровой молнии до конца не выяснена. Предполагают, что это быстро вращающийся сгусток зарядов (плазмы), внутри которого имеется разряжение. Благодаря этому удельный вес шаровой молнии меньше, чем удельный вес воздуха. Возникает она после удара линейной молнии, в ее электромагнитном поле и до исчезновения получает энергию извне путем поглощения электромагнитной энергии. Когда подвода энергии нет, она исчезает с оглушительным шумом, подобно разбиваемой электрической лампочке. Шаровая молния легко подхватывается и переносится потоками воздуха, может проникать в помещения со сквозняком через открытые окна или двери, через печные трубы и даже небольшие щели. Есть сведения, что шаровая молния проникла в помещение сквозь оконное стекло, в котором она проплавила небольшое отверстие. Проникнув в помещение, шаровая молния кружит в нем и может выйти обратно тем же путем, каким и вошла. Если в помещении находятся люди, они должны оставаться в этот момент неподвижными. Нельзя обращаться в бегство. В этом случае за человеком устремляется поток воздуха, который увлекает шаровую молнию. Она может стремительно поражать людей, вызывать пожар, разрушать здания.

Надежные способы защиты от шаровой молнии до сих пор не разработаны. Защита в виде молниеотводов не эффективна. Однако в значительной мере уменьшить опасность проникновения шаровой молнии в помещение можно, закрыв двери, окна, выюшки и т. д. Рекомендуются также над выходными отверстиями дымовых труб и в вентиляционных проходах устанавливать заземленные металлические сетки, с площадью отверстий не более 4 см^2 и толщиной проволоки 2–2,5 мм. Это мероприятие особенно необходимо для взрывоопасных и пожароопасных помещений.

Прямой удар молнии обуславливает следующие воздействия на объекты: *термические, механические и электрические*. Все эти воздействия могут быть причинами пожаров, взрывов, механических разрушений, перенапряжения на пораженных элементах объекта, проводах и кабелях электрических сетей, поражения людей.

Термические воздействия связаны с резким выделением теплоты при прямом контакте канала молнии с содержимым пораженного объекта и при протекании через объект тока молнии. Канал молнии имеет высокую температуру (30 000 °C и выше) и большой запас тепловой энергии — выше 5,5 Дж, что на несколько порядков превышает минимальную энергию воспламенения газо-, паро- и пылевоздушных смесей. Например, *термическое воздействие токов молнии на проводники* вызывает не только их нагрев, но и оплавление. При этом может выделяться такое количество теплоты, которое при недостаточном сечении металла расплавит его или даже испарит.

Механические воздействия токов молнии обуславливаются ударной волной, распространяющейся от канала молнии, и электродинамическими силами, действующими на проводники с токами молнии. Это воздействие может быть причиной, например, сплющивания тонких металлических трубок и схлестывания проводников. При поражении молнией сооружений из твердого негорючего материала (камня, кирпича, бетона) наблюдаются местные разрушения как результат динамического действия.

Электрические воздействия молнии связаны с поражением людей или животных электрическим током и появлением перенапряжений на пораженных элементах объекта. Перенапряжение пропорционально амплитуде и крутизне тока молнии, индуктивности конструкций и сопротивлению заземлителей, по которым ток молнии отводится в землю. Даже при выполнении молниезащиты

прямые удары молнии с большими токами и крутизной могут привести к перенапряжениям в несколько мегавольт.

При отсутствии молниезащиты пути растекания тока молнии становятся неконтролируемыми, и это может увеличить опасность поражения током людей, опасные напряжения шага и прикосновения, а также перекрытия на другие объекты.

Под *вторичными воздействиями молнии* подразумеваются явления во время близких разрядов молнии, сопровождающиеся появлением разностей потенциалов на конструкциях, трубопроводах и проводах внутри помещений и сооружений, не подвергающихся непосредственному прямому удару.

Электростатическая индукция. Накопление в грозовом облаке и частичное перемещение зарядов в формирующийся канал молнии в ее начальной стадии вызывает скопление связанных зарядов противоположного знака на поверхности земли и наземных объектов. Развитие этих процессов происходит относительно медленно, поэтому перемещение зарядов не вызывает внутри наземных объектов заметных разностей потенциалов, несмотря на высокие сопротивления утечки. В стадии главного разряда освобождение связанных зарядов происходит настолько быстро, что могут возникнуть существенные разности потенциалов между металлическими конструкциями и землей, вызванные протеканием токов через большие сопротивления утечки. Разности потенциалов даже при ударах молнии на расстоянии 100 м от здания могут достигать десятков и сотен киловольт и вызывать искры в воздушных промежутках. Несмотря на малую энергию, искры могут быть причиной взрывов в помещениях со взрывоопасными концентрациями горючих смесей газов, паров и пылей.

Электромагнитная индукция. Разряд молнии сопровождается появлением в пространстве быстро изменяющегося во времени магнитного поля, индуцирующего э. д. с., способную вызвать искрообразование в контурах из различных протяженных металлических предметов (трубопроводов, воздухопроводов, проводов, кабелей). При полностью замкнутом контуре индуцированная э. д. с. вызовет электрический ток и небольшое нагревание его элементов, не представляющее, как правило, какой-либо опасности.

Однако контуры могут быть незамкнутыми или иметь плохие контакты в местах соединений (во фланцах трубопроводов), где

э. д. с. может вызвать искрение. Результатом искр, сгенерированных в емкостях с горючими паровоздушными смесями, являются пожары. Значительное число пожаров нефтяных цистерн, резервуаров и складских емкостей обусловлено вторичным (индуцированным) воздействием, а не прямым ударом молнии.

Заносы высоких потенциалов. Заносы высоких потенциалов в здания возможны по рельсовым путям, эстакадам, подземным трубопроводам, кабелям и другим протяженным металлическим коммуникациям и могут сопровождаться мощными электрическими разрядами не только при прямом ударе молнии, но и в том случае, когда эти коммуникации расположены вблизи элементов молниеотводов. Значительное повышение потенциала на молниеотводе при прямом ударе молнии может вызвать перекрытие изоляции по воздуху, земле или дереву на части указанных коммуникаций. Искрообразование внутри взрывоопасных зданий, обусловливаемое заносом высокого потенциала по коммуникациям, является источником взрыва и представляет серьезную опасность для людей.

Опасность для людей и животных представляет шаговое напряжение, возникающее при ударе молнии, на расстоянии 5–10 метров от места удара молнии.

5.4. Классификация зданий и сооружений, подлежащих защите от прямых ударов молнии и ее вторичных проявлений

В настоящее время основными нормативными документами по молниезащите являются:

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО-153-34.21.122-2003.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87.

Оба документа действуют в РФ одновременно, хотя между ними существуют некоторые различия. При столкновении с разночтениями, на наш взгляд, следует придерживаться требований, которые являются более жесткими.

Кроме перечисленных рекомендуется следовать положениям следующих российских и международных документов:

- Стандарт МЭК 61662 «Оценка ущерба от удара молнии»;
- Стандарт МЭК 61024-1 «Молниезащита зданий и сооружений. Общие положения»;
- Правила устройства электроустановок, издание 6 и 7;
- Стандарт МЭК 61312-1 «Защита от импульсного перенапряжения. Общие положения».

В соответствии с СО 153-34.21.122-2003 классификация объектов определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения. Для электронных устройств, установленных в объектах разного назначения, требуется специальная защита.

Объекты могут подразделяться на обычные и специальные.

Обычные объекты — жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства.

Специальные объекты:

- объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;
- объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);
- прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

В таблице 5.2 даны примеры разделения объектов на четыре класса.

При строительстве и реконструкции для каждого класса объектов требуется определить необходимые уровни надежности защиты от прямых ударов молнии (ПУМ). Например, для обычных объектов может быть предложено четыре уровня надежности защиты, указанных в таблице 5.3.

Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9–0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ *по согласованию с органами государственного контроля.*

По желанию заказчика в проект может быть заложен уровень надежности, превышающий предельно допустимый.

Таблица 5.2

Примеры классификации объектов

Объект	Тип объекта	Последствия удара молнии
<i>Обычный</i>	Жилой дом	Отказ электроустановок, пожар и повреждение имущества. Обычно небольшое повреждение предметов, расположенных в месте удара молнии или задетых ее каналом
	Ферма	Первоначально — пожар и занос опасного напряжения, затем — потеря электропитания с риском гибели животных из-за отказа электронной системы управления вентиляцией, подачи корма и т. д.
	Театр; школа; универсам; спортивное сооружение	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий
	Банк; страховая компания; коммерческий офис	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбои компьютеров с потерей данных
	Больница; детский сад; дом для престарелых	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбои компьютеров с потерей данных. Необходимость помощи тяжелобольным и неподвижным людям
	Промышленные предприятия	Дополнительные последствия, зависящие от условий производства, — от незначительных повреждений до больших ущербов из-за потерь продукции
	Музеи и археологические памятники	Невосполнимая потеря культурных ценностей

Таблица 5.2. Окончание

Объект	Тип объекта	Последствия удара молнии
<i>Специальный с ограниченной опасностью</i>	Средства связи; электростанции; пожароопасные производства	Недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций). Косвенная опасность пожара для соседних объектов
<i>Специальный, представляющий опасность для непосредственного окружения</i>	Нефтеперерабатывающие предприятия; заправочные станции; производства петард и фейерверков	Пожары и взрывы внутри объекта и в непосредственной близости
<i>Специальный, опасный для экологии</i>	Химический завод; атомная электростанция; биохимические фабрики и лаборатории	Пожар и нарушение работы оборудования с вредными последствиями для окружающей среды

Таблица 5.3

Уровни защиты от прямых ударов молнии для обычных объектов

Уровень защиты	Надежность защиты от ПУМ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

В соответствии с РД 34.21.122-87 по молниезащите здания и сооружения делятся на *три* категории.

К *I категории* отнесены производственные помещения, в которых в нормальных технологических режимах могут находиться и образовываться взрывоопасные концентрации газов, паров, пылей, волокон (это взрывоопасные зоны классов В-I и В-II). Любое поражение молнией, вызывая взрыв, создает повышенную опасность разрушений и жертв не только для данного объекта, но и для близрасположенных.

Объекты *I категории* подлежат обязательной защите от:

- *прямых* ударов молнии;
- *электростатической* и электромагнитной индукции;

– заноса высокого потенциала через наземные и подземные коммуникации на всей территории страны.

Ко *II категории* относятся производственные здания и сооружения (или их части), в которых появление взрывоопасной концентрации происходит в результате нарушения нормального технологического режима, а также наружные установки, содержащие взрывоопасные жидкости и газы (это взрывоопасные зоны классов В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-IIa). Для этих объектов удар молнии создает опасность взрыва только при совпадении с технологической аварией или срабатыванием дыхательных и аварийных клапанов на наружных установках.

Здания и сооружения *II категории* должны быть защищены от:

– *прямых* ударов молнии;

– *вторичных* ее воздействий;

– заноса высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации только в местностях со средней продолжительностью гроз 10 часов в год и более.

Наружные установки класса В-Iг, относимые ко *II категории*, подлежат защите от *прямых ударов молнии на всей территории страны* (некоторые из них, например, резервуары с плавающими крышами подлежат защите и от электростатической индукции).

К *III категории* отнесены объекты, последствия поражения которых связаны с меньшим материальным ущербом, чем при взрывоопасной среде. Сюда входят здания и сооружения с пожароопасными помещениями или строительными конструкциями низкой огнестойкости, причем для них требования к молниезащите ужесточаются с увеличением вероятности поражения объекта (ожидаемого количества поражений молнией). Кроме того, к *III категории* отнесены объекты, поражение которых представляет опасность электрического воздействия на людей и животных: большие общественные здания, животноводческие строения, высокие сооружения типа труб, башен, монументов. Наконец, к *III категории* отнесены мелкие строения в сельской местности, где чаще всего используются сгораемые конструкции. Согласно статистическим данным на эти объекты приходится значительная доля пожаров, вызванных грозой. Из-за небольшой стоимости этих строений их молниезащита выполняется упрощенными способами, не требующими значительных материальных затрат (п. 2.30 РД).

Объекты *III категории* должны быть защищены от:

– *прямых* ударов молнии;

– *заноса* высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации.

Наружные установки защищаются только от *прямых ударов молнии*.

Пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения, называют *зоной защиты молниеотвода*. Поверхность зоны защиты обладает постоянной, но наименьшей надежностью, в глубине же зоны защиты надежность выше, чем на ее поверхности.

В *РД 34.21.122-87* рассматриваются два типа зон защиты: зона защиты типа **А** — обладает надежностью 99,5 % и выше и зона защиты типа **Б** — обладает надежностью 95 % и выше.

5.5. Требования к устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций

В соответствии с СО 153-34.21.122-2003 Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система — МЗС) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС). В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты.

Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие молниеотводы — стержневые или тросовые, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов) или может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью.

Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта.

Токи молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле.

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. В случае специального изготовления их материал и сечения должны удовлетворять требованиям таблицы 5.4.

Таблица 5.4

Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ²		
		молниеприемника	токоотвода	заземлителя
I–IV	Сталь	50	50	80
I–IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I–IV	Медь	35	16	50

Примечание: Указанные значения могут быть увеличены в зависимости от повышенной коррозии или механических воздействий

Молниеприемник — часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молний.

Молниеприемники могут быть специально установленными, в том числе на объекте, либо их функции выполняют конструктивные элементы защищаемого объекта; в последнем случае они называются естественными молниеприемниками. Как естественные молниеприемники могут рассматриваться конструктивные элементы зданий и сооружений, такие как металлические кровли защищаемых объектов, металлические конструкции крыши (фермы, соединенная между собой стальная арматура), металлические элементы типа водосточных труб, украшений, ограждений по краю крыши и т. п.

Молниеприемники могут состоять из произвольной комбинации следующих элементов: стержней, натянутых проводов (тросов), сетчатых проводников (сеток).

Токоотвод (спуск) — часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

В целях снижения вероятности возникновения опасного искрения токоотводы должны располагаться таким образом, чтобы между точкой поражения и землей: а) ток растекался по нескольким параллельным путям; б) длина этих путей была ограничена до минимума.

Если молниеприемник состоит из стержней, установленных на отдельно стоящих опорах (или одной опоре), на каждую опору должен быть предусмотрен минимум один токоотвод.

Если молниеприемник состоит из отдельно стоящих горизонтальных проводов (тросов) или из одного провода (троса), на каждый конец троса требуется минимум по одному токоотводу.

Если молниеприемник представляет собой сетчатую конструкцию, подвешенную над защищаемым объектом, на каждую ее опору требуется не менее одного токоотвода. Общее количество токоотводов должно быть не менее двух.

При неизолированных устройствах молниезащиты токоотводы располагаются по периметру защищаемого объекта таким образом, чтобы среднее расстояние между ними было не меньше значений, приведенных в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Средние расстояния между токоотводами
в зависимости от уровня защищенности

Уровень защиты	Среднее расстояние, м
I	10
II	15
III	20
IV	25

Токоотводы соединяются горизонтальными поясами вблизи поверхности земли и через каждые 20 м по высоте здания.

Желательно, чтобы токоотводы равномерно располагались по периметру защищаемого объекта. По возможности они прокладываются вблизи углов зданий.

Заземлитель — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду.

Во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель молниезащиты следует совместить с заземлителями электроустановок и средств связи. Если эти заземлители должны быть разделены по каким-либо технологическим

соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов.

Целесообразно использовать следующие типы заземлителей: один или несколько контуров; вертикальные (или наклонные) электроды; радиально расходящиеся электроды или заземляющий контур, уложенный на дне котлована; заземляющие сетки.

Заземлитель в виде наружного контура предпочтительно прокладывать на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли и на расстоянии не менее 1 м от стен. Заземляющие электроды должны располагаться на глубине не менее 0,5 м за пределами защищаемого объекта и быть как можно более равномерно распределенными; при этом надо стремиться свести к минимуму их взаимное экранирование.

Молниеприемники и токоотводы *жестко закрепляются* — так, чтобы исключить любой разрыв или ослабление крепления проводников под действием электродинамических сил или случайных механических воздействий (например, от порыва ветра или падения снежного пласта).

Количество соединений проводника сводится к *минимальному*. Соединения выполняются сваркой, пайкой, допускается также вставка в зажимной наконечник или болтовое крепление.

5.6. Расчет высоты молниеотводов

Выбор типа и высоты молниеотводов производится, исходя из значений требуемой надежности защиты $P_z = 1 - P_{пр}$, где $P_{пр}$ — вероятность прорыва молнии в зону защиты.

В терминах теории надежности вероятность прорыва — параметр, характеризующий отказ молниеотвода как защитного устройства.

Вероятность прорыва молнии в зону защиты — это отношение числа ударов молнии в защищенный объект (числа прорывов) к общему числу ударов в молниеотвод и объект.

Подсчет ожидаемого количества N поражений молнией зданий или сооружений, не имеющих молниезащиты, в год производится по формулам:

— для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни):

$$N = 9\pi \cdot h^2 N_g \cdot 10^{-6};$$

– для зданий и сооружений прямоугольной формы:

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2]N_g \cdot 10^{-6},$$

где h — наибольшая высота здания или сооружения (м); S, L — соответственно ширина и длина здания или сооружения (м); N_g — среднегодовое число ударов молнии в 1 км земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения.

Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве S и L рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание или сооружение в плане.

В РД 34.21.122-87 показатель N определяет тип зоны защиты молниеотводов. Например, для стержневых и тросовых молниеотводов тип зоны защиты определяется в соответствии с таблицей 5.6.

Таблица 5.6

Категория молниезащиты и тип зоны защиты зданий и сооружений

№ пп.	Здания и сооружения	Местоположение	Тип зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов	Категория молниезащиты
1	Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов В-I и В-II	На всей территории СССР	Зона А	I
2	То же классов В-Iа, В-Iб, В-IIа	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	При ожидаемом количестве поражений молнией в год здания или сооружения $N > 1$ — зона А; при $N \leq 1$ — зона Б	II
3	Наружные установки, создающие согласно ПУЭ зону класса В-Iг	На всей территории СССР	Зона Б	II

Таблица 5.6. Продолжение

№ пп.	Здания и сооружения	Место-положение	Тип зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов	Категория молниезащиты
4	Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов П-I, П-II, П-IIа	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	Для зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости при $0,1 < N \leq 2$ и для III–V степеней огнестойкости при $0,02 < N \leq 2$ — зона Б, при $N > 2$ — зона А	III
5	Расположенные в сельской местности небольшие строения III–V степеней огнестойкости, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов П-I, П-II, П-IIа	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более при $N < 0,02$	—	III (п. 2.30)
6	Наружные установки и открытые склады, создающие согласно ПУЭ зону классов П-III	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	При $0,1 < N \leq 2$ — зона Б, при $N > 2$ — зона А	III
7	Здания и сооружения III, IIIа, IIIб, IV, V степеней огнестойкости, в которых отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	То же	При $0,1 < N \leq 2$ — зона Б, при $N > 2$ — зона А	III
8	Здания и сооружения из легких металлических конструкций со сгораемым утеплителем (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 $0,02 < N \leq 2$ — зона Б, при $N > 2$ — зона А	III

Таблица 5.6. Продолжение

№ пп.	Здания и сооружения	Местоположение	Тип зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов	Категория молниезащиты
9	Небольшие строения III-V степеней огнестойкости, расположенные в сельской местности, в которых отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более для III, IIIа, IIIб, IV, V степеней огнестойкости при $N < 0,1$, для IVа степени огнестойкости при $N < 0,02$	—	III (п. 2.30)
10	Здания вычислительных центров, в том числе расположенные в городской застройке	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	Зона Б	II
11	Животноводческие и птицеводческие здания и сооружения III–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
12	Дымовые и прочие трубы предприятий и котельных, башни и вышки всех назначений высотой 15 м и более	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	—	III (п. 2.31)

Таблица 5.6. Окончание

№ пп.	Здания и сооружения	Место-положение	Тип зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов	Категория молниезащиты
13	Жилые и общественные здания, высота которых более чем на 25 м превышает среднюю высоту 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
14	Отдельно стоящие жилые и общественные здания в сельской местности высотой более 30 м	То же	Зона Б	III
15	Общественные здания III–V степеней огнестойкости следующего назначения: детские дошкольные учреждения, школы и школы-интернаты, стационары лечебных учреждений, спальные корпуса и столовые учреждений здравоохранения и отдыха, культурно-просветительные и зрелищные учреждения, административные здания, вокзалы, гостиницы, мотели и кемпинги	То же	Зона Б	III
16	Открытые зрелищные учреждения (зрительные залы открытых кинотеатров, трибуны открытых стадионов и т. п.)	То же	Зона Б	III
17	Здания и сооружения, являющиеся памятниками истории, архитектуры и культуры (скульптуры, обелиски и т. п.)	То же	Зона Б	III

В СО 153-34.21.122-2003 рекомендуется вычислять вероятность прорыва молнии в объект (группу объектов) при помощи компьютерных программ использующих, в частности, статистические методы расчета.

Статистические методы рассматривают вероятности перекрытия элементарных промежутков, образованных с одной стороны головкой канала молнии на уровне высоты ориентировки $h_{ор}$, а с другой — защищаемым объектом высотой $h_{об}$, молниеотводом высотой h_m и поверхностью земли. При этом учитывается, что вследствие статистического разброса электрической прочности с некоторой вероятностью может быть перекрыт любой из этих промежутков, а не только самый короткий.

Точка удара молнии устанавливается в результате двух независимых событий: процесса ориентировки, в ходе которого определяется вероятность движения молнии к системе молниеотвод — объект, а не к поверхности земли, и процесса выбора. Последний определяет вероятность контакта канала молнии именно с объектом, а не с молниеотводом. Оба процесса начинаются после того, как головка канала лидера опустится до уровня высоты ориентировки.

Математическим описанием как процесса ориентировки, так и выбора, являются однотипные выражения, основанные на нормальном законе распределения пробивных напряжений сверхдлинных воздушных промежутков.

Если защита объекта обеспечивается простейшими молниеотводами (одиноким стержневым, одноким тросовым, двойным стержневым, двойным тросовым, замкнутым тросовым), размеры молниеотводов можно определять, пользуясь заданными в СО 153-34.21.122-2003 и РД 34.21.122-87 зонами защиты.

Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты не менее заданной.

При прочих равных условиях высоту молниеотводов можно снизить, если вместо стержневых конструкций применять тросовые, особенно при их подвеске по внешнему периметру объекта.

Стандартной зоной защиты *одиночного стержневого молниеотвода* высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (рис. 5.7). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .

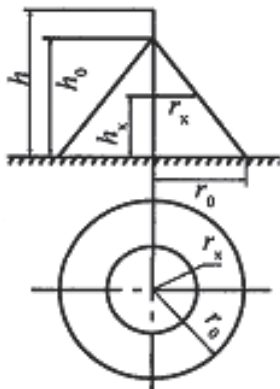


Рис. 5.7. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

Приведенные в таблице 5.7 расчетные формулы пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

Таблица 5.7

Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9*	От 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	От 100 до 150	$0,85h$	$[1,2-10^{-3}(h-100)]h$
0,95**	≤ 150	$0,92h$	$1,5h$
0,99*	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$[0,8-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,8-10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,995**	≤ 150	$0,85h$	$(1,1-0,002h)h$
0,999*	От 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	От 30 до 100	$[0,7-7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,65-10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5-2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

* — по СО 153-34.21.122-2003; ** — по РД 34.21.122-87

Для зоны защиты требуемой надежности (рис. 5.7) радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x определяется по формуле:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}.$$

Стандартные зоны защиты *одиночного тросового молниеотвода* высотой h ограничены симметричными двускатными поверхностями, образующими в вертикальном сечении равнобедренный треугольник с вершиной на высоте $h_0 < h$ и основанием на уровне земли $2r_0$ (рис. 5.8).

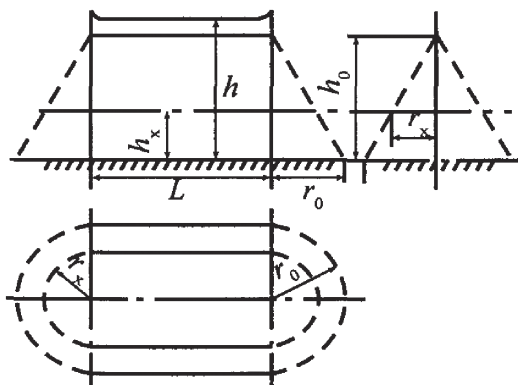


Рис. 5.8. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода:

L — расстояние между точками подвеса тросов

Приведенные в таблице 5.8 расчетные формулы пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При большей высоте следует пользоваться специальным программным обеспечением. Здесь и далее под h понимается минимальная высота троса над уровнем земли (с учетом провеса).

Полуширина r_x зоны защиты требуемой надежности (рис. 5.8) на высоте h_x от поверхности земли определяется выражением:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}.$$

Таблица 5.8

Расчет зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9*	От 0 до 150	$0,87h$	$1,5h$
0,95**	≤ 150	$0,92h$	$1,7h$
0,99*	От 0 до 30	$0,8h$	$0,95h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$[0,95 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$0,8h$	$[0,9 - 10^{-3}(h-100)]h$
0,995**	≤ 150	$0,85h$	$(1,35 - 0,0025h)h$
0,999*	От 0 до 30	$0,75h$	$0,7h$
	От 30 до 100	$[0,75 - 4,28 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,7 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,72 - 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,6 - 10^{-3}(h-100)]h$

* — по СО 153-34.21.122-2003; ** — по РД 34.21.122-87

5.7. Примеры определения зоны защиты молниеотводов

Проиллюстрируем определение зоны защиты молниеотводов на следующих примерах.

Пример 5.2. Определить соответствие молниезащиты прямоугольного здания длиной $l = 9$ м, шириной $s = 6$ м и высотой $h_x = 5,5$ м требованиям пожарной безопасности. Для защиты от прямых ударов молнии используется одиночный крышевой молниеотвод, расположенный в центре крыши здания, с молниеприемником типа МП-1 длиной 5,5 м. Предусмотренная надежность защиты равна 0,9.

Решение.

1) Определим высоту молниеотвода, сложив высоту здания и длину молниеприемника:

$$h = 5,5 + 5,5 = 11 \text{ (м)}.$$

2) Исходя из предусмотренной надежности защиты здания, определим высоту защитного конуса и его радиус:

а) высота конуса:

$$h_0 = 0,85h = 0,85 \cdot 11 = 9,35 \text{ (м)};$$

б) радиус конуса:

$$r_0 = 1,2h = 1,2 \cdot 11 = 13,2 \text{ (м)}.$$

3) Определим, вписывается ли контур здания в защитный конус, для чего сначала найдем половину длины диагонали вида сверху контура здания:

$$\frac{d}{2} = \frac{\sqrt{l^2 + s^2}}{2} = \frac{\sqrt{(9)^2 + (6)^2}}{2} = \frac{10,82}{2} = 5,41 \text{ (м)},$$

а затем радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x здания:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{13,2 \cdot (9,35 - 5,5)}{9,35} = 5,44 \text{ (м)}.$$

Радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x здания больше половины длины диагонали вида сверху контура здания, следовательно, принятый вариант молниезащиты *соответствует требованиям пожарной безопасности*.

Пример 5.3. Определить соответствие молниезащиты прямоугольного здания длиной $l = 10$ м, шириной $s = 6$ м и высотой $h_x = 4$ м требованиям пожарной безопасности. Для защиты от прямых ударов молнии используются одиночный тросовый молниеотвод высотой 5 м (с учетом провеса) над поверхностью крыши, расположенный вдоль центральной линии крыши здания, с расстоянием между точками подвеса троса на крыше $L = 10$ м. Предусмотренная надежность защиты равна 0,99.

Решение.

1) Определим высоту молниеотвода, сложив высоту здания и высоту тросового молниеотвода над поверхностью крыши:

$$h = 4 + 5 = 9 \text{ (м)}.$$

2) Исходя из предусмотренной надежности защиты здания, определим высоту защитного конуса и его радиус:

а) высота конуса:

$$h_0 = 0,8h = 0,8 \cdot 9 = 7,2 \text{ (м)};$$

б) радиус конуса:

$$r_0 = 0,95h = 0,95 \cdot 9 = 8,55 \text{ (м)}.$$

3) Определим полуширину r_x зоны защиты требуемой надежности на высоте h_x от поверхности земли:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{8,55(7,2 - 4)}{7,2} = 3,8 \text{ (м)}.$$

Поскольку полуширина здания, равная 3 м, меньше полуширины зоны защиты, равной 3,8 м, здание полностью вписывается в зону защиты одиночного тросового молниеотвода и, следовательно, принятый вариант молниезащиты *соответствует требованиям пожарной безопасности*.

5.8. Упражнения

5.1. Определить напряжение пробоя искрового промежутка между двумя сферами диаметром $d = 15$ мм. Расстояние между сферами $g = 1,5$ мм. Условия окружающей среды нормальные.

5.2. Определить соответствие молниезащиты прямоугольного здания длиной $l = 8$ м, шириной $s = 5$ м и высотой $h_x = 5,5$ м требованиям пожарной безопасности. Для защиты от прямых ударов молнии используется одиночный крышевой молниеотвод, расположенный в центре крыши здания, с молниеприемником типа МП-1 длиной 5,5 м. Предусмотренная надежность защиты равна 0,9.

5.3. Определить соответствие молниезащиты прямоугольного здания длиной $l = 11$ м, шириной $s = 7$ м и высотой $h_x = 5$ м требованиям пожарной безопасности. Для защиты от прямых ударов молнии используется одиночный тросовый молниеотвод высотой 7 м (с учетом провеса) над поверхностью крыши, расположенный вдоль

центральной линии крыши здания, с расстоянием между точками подвеса троса на крыше $L = 10$ м. Предусмотренная надежность защиты равна 0,99.

5.9. Вопросы для повторения

1. К каким нежелательным последствиям прямо или косвенно может привести электростатический разряд?
2. Перечислите технологические процессы, в которых возможно образование электростатических зарядов.
3. При выполнении какого условия достигается электростатическая искробезопасность объекта защиты?
4. Чему равна энергия электростатического разряда, способного стать источником зажигания огнеопасных веществ?
5. Что относится к основным мерам защиты от статического электричества?
6. До каких величин должны обеспечивать снижение удельного объемного электрического сопротивления и удельного поверхностного электрического сопротивления материала антиэлектростатические вещества?
7. Чему должно быть равно сопротивление заземляющего устройства для защиты от электростатических разрядов?
8. При какой относительной влажности окружающего воздуха достигается уменьшение объемных и поверхностных сопротивлений обрабатываемых материалов, генерирующих электрические заряды?
9. Каким требованиям должны соответствовать нейтрализаторы электрических зарядов?
10. Какова должна быть величина удельного поверхностного сопротивления у материалов, которые должны применяться для изготовления антиэлектростатической специальной одежды?
11. Чем характеризуется плотность ударов молнии в землю?
12. Что такое лидер?
13. Что такое стример?
14. Какие воздействия на объекты обуславливает прямой удар молнии?
15. Что подразумевают под вторичными воздействиями молнии?

16. Из чего состоит внешняя молниезащитная система?
17. В каком документе приведена карта районирования территории РФ по среднегодовой продолжительности гроз в часах ?
18. Какой параметр характеризует отказ молниеотвода как защитного устройства?
19. В каком случае объект считается защищенным молниеотводами?
20. Чем ограничена зона защиты одиночного стержневого молниеотвода?
21. Чем ограничена зона защиты одиночного тросового молниеотвода?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П., Левитов В.И.* Физика молнии и молниезащиты — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
2. *Воробьев А.Ю.* Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. — М.: Эко-Трендз, 2002. — 280 с.
3. *Гремяцкий Н.С., Карпов В.В.* Справочник проектировщика-электрика жилых и гражданских зданий. — Л.: Стройиздат, 1965. — 396 с.
4. *Максимов Б.К., Обух А.А.* Статическое электричество в промышленности и защита от него. — М.: Энергия, 1978. — 78 с.
5. *Мыльников М.Т.* Общая электротехника и пожарная профилактика в электроустановках. — М.: Стройиздат, 1985. — 311 с.
6. *Смелков Г.И.* Пожарная безопасность электропроводок. — М.: ООО «Кабель», 2009. — 328 с.
7. *Собурь С.В.* Пожарная безопасность электроустановок. Справочник. — М.: Спецтехника, 2003. — 303 с.
8. *Черкасов В.Н., Зыков В.И.* Обеспечение пожарной безопасности электроустановок. — М.: ООО «Издательство «Пожнаука», 2010. — 406 с.

Нормативные документы

9. ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007 Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. Доступно (2010, Май): <http://1doc.ru/>
10. ПБ 03-538-03. «Правила сертификации электрооборудования для взрывоопасных сред». Доступно (2010, Май): <http://1doc.ru/>
11. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. ППБ 01-03. — СПб.: ФГУП «Печатный двор», 2003. — 186 с.
12. Правила устройства электроустановок. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2005. — 854 с.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Доступно (2010, Май): <http://1doc.ru/>
14. СН и П 3.05.06–85. Электротехнические устройства. ВНИИпроект-электромонтаж. — М.: ГУП ЦПП, 2003. — 59 с.
15. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 27 с.
16. Федеральный закон «О пожарной безопасности». Доступно (2010, Май): <http://1doc.ru/>
17. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Доступно (2010, Май): <http://1doc.ru/>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Характеристики наиболее употребительных проводов, кабелей, аппаратов защиты и управления

Таблица П.1

Марки наиболее употребительных проводов

Марка	Напряже- ние в В	Количест- во жил	Сечение мм ²	Наименование	Область применения и способ прокладки
ПРЕД	380	2	0,5–6	Медный, двух- жильный, с рези- новой изоляцией, в полихлорвини- ловой оболочке (шнур)	Сухие отапливаемые по- мещения. Предназначен для прокладки на роликах (ре- комендуется для временных сооружений)
ДПРГ	380	2	0,5–10	То же, без по- лихлорвиниловой оболочки, в про- питанной оплетке, гибкий	Сырые помещения и вне зданий. Предназначены для прокладки на роликах, для за- рядки непереносных арматур
ПР	220 500	1 1	1-4 0,75–400	Медный одно- жильный, с рези- новой изоляцией, в пропитанной оплетке	Сухие помещения: откры- то — на роликах, в тонко- стенных стальных трубах*, в бумажно-металлических трубках; скрыто — в изо- ляционных трубах, в бумажных трубках внутри стеновых блоков, в резино- вых полутвердых, резино- битумных трубках; в полу в стеклянных трубках; в кана- лах и пустотах строительных конструкций
АПР	380 500	1 1	2,5–150 2,5–400	Алюминиевый одножильный, с резиновой изоля- цией, в пропитан- ной оплетке	Сырые помещения: откры- то — на роликах, изоляторах в водогазопроводных трубах и скрыто — в каналах и трубах из оцинкованной кровельной стали с изоляционным слоем пергамина

Таблица П.1. Продолжение

Марка	Напряже- ние в В	Количес- тво жил	Сечение мм ²	Наименование	Область применения и способ прокладки
ПРГ	500	1	0,75–400	То же, что и ПР, но гибкий	То же, но применяется глав- ным образом для зарядки арматур и особенно там, где возможна вибрация
ПРТО	500 2000	1 2 3 4	1-500 1-120	Медный, с рези- новой изоляцией, в пропитанной оплетке	Сухие помещения: откры- то и скрыто в бумажно- металлических трубках
АПРТО	500 2000	1 2 3 4	2,5–400 2,5–120	То же, но алюми- ниевый	Сырые и жаркие помещения: открыто и скрыто в стальных тонкостенных и водогазопро- водных трубах
ПРВ	500	1	0,75–6	Медный, с резино- вой изоляцией, в полихлорвинило- вой оболочке	Сухие и влажные помещения: открыто — на роликах и изо- ляторах; скрыто — в каналах строительных конструкций и в изолирующих трубках под штукатуркой; в штрабах, за- зорах и щелях
АПРВ	500	1	2,5–6	То же, но алюми- ниевый	
ТПРФ	500	1 2 3 4	1–10	Медный, с резино- вой изоляцией, в трубчатой метал- лической фальцо- ванной оболочке	Сухие и пыльные помещения: открыто — на скобах
АТПРФ	500	2 3	2,5–4	То же, но алюми- ниевый	—
ПВ	500	1	0,75–95	Медный с по- лихлорвиниловой изоляцией	Сухие помещения: откры- то — на роликах (только в цветной изоляции в сельской местности) и в бумажно- металлических трубках
АПВ	500	1	2,5–120	То же, но алюми- ниевый	Сухие и сырые помещения: скрыто — в изоляционных трубах, а также в пустотах и каналах строительных кон- струкций без изоляционных труб и под штукатуркой

Таблица П.1. Продолжение

Марка	Напряже- ние в В	Количес- тво жил	Сечение мм ²	Наименование	Область применения и способ прокладки
АПВГ	660	2 3 4	2,5–6 4–50	Алюминиевый, с полиэтиленовой изоляцией, в полихлорвиниловой оболочке	То же и в сельской местности
ППВ	500	2 3	0,75–4	Медный, с полихлорвиниловой изоляцией, плоский с разделительной пленкой	Сухие и влажные помещения: открыто — только в цветной изоляции по оштукатуренным стенам и потолку и по обоям; скрыто — так же, как провод марки ПВ и АПВ
АППВ	500	2 3	2,5–6	То же, но алюми- ниевый	—
АППР	380	1 2	2,5–6	То же, с резиновой изоляцией, плоский, с разделительной пленкой	Для прокладки по деревянным основаниям (в сельской местности)
ППВС	500	2 3	0,75–4	Медный, с полихлорвиниловой изоляцией, плоский без разделительной пленки	Сухие и влажные помещения: только для скрытой проводки под штукатуркой; в щелях, зазорах, штрабах, в пустотах и каналах строительных конструкций без изоляционных трубок
АППВС	500	2 3	2,5–6	То же, но алюми- ниевый	—
АПН	500	1 2 3	2,5–6 2,5–4 2,5–4	Алюминиевый, с найритовой изоляцией	Сухие и влажные помещения: открыто — на роликах по деревянным и оштукатуренным стенам и потолку в сельской местности, а также по оштукатуренным стенам с обоями; скрыто — под штукатуркой, не содержащей в своем составе поташа, мылонафта и других добавок, разрушающих изоляцию и алюминиевый провод

Таблица П.1. Окончание

Марка	Напряже- ние в В	Количес- тво жил	Сечение мм ²	Наименование	Область применения и способ прокладки
РКРМ	380	1	0,75–95	Медный, с изо- ляцией из по- ликсилуксановой резины (термо- стойкий)	Для зарядки арматур

*При отсутствии проводов АПРТО и ПРТО

Таблица П.2

Марки наиболее употребительных кабелей напряжением
до 1000 В

Марка	Напряжение в В	Количество жил	Предель- ные сечения в мм ²	Характеристика	Область применения
СБ	1000	1 2 3 4	4–800 2,5–150 2,5–240 4–185	С медными жилами, с бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный сталь- ной лентой, с наружным покровом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле
СБГ	1000	1 2 3 4	4–800 2,5–150 2,5–240 4–185	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки внутри помещений, в тоннелях, кана- лах, лотках, по стенам
АБ	1000	3 4	6–120 6–95	С медными жилами, с бумажной изоляцией, в алюминиевой оболочке, бронированный стальной лентой, с наружным покро- вом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле

Таблица П.2. Продолжение

Марка	Напряжение в В	Количество жил	Предель- ные сечения в мм ²	Характеристика	Область применения
АБГ	1000	3 4	6–120 6–95	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки вну- три помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам
ААБ	1000	3 4	6–120 6–95	То же, но с алюминиевыми жилами и с наружным покровом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле
ААБГ	1000	3 4	6–120 6–95	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки внутри помеще- ний, в тоннелях, каналах
СРГ	500	1 2 3 4	1–240 1–185 1–185 1–185	С медными жилами, с резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке, голый	Для прокладки внутри любых помещений, в тон- нелях, каналах, по стенам, по станкам
АСРГ	500	1 2 3 4	4–240 4–185 4–185 4–185	То же, но с алюминиевы- ми жилами	То же, но внутри сухих и сырых по- мещений
СРВ	500	2 3 4	4–185	С медными жилами, с резиновой изоляцией, бронированный, с наруж- ным покровом из кабель- ной пряжи	Для прокладки в земле
СРБГ	500	2 3 4	4–185	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки вну- три помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам
АСРВ	500	2 3 4	4–185	С алюминиевыми жила- ми, с резиновой изоля- цией, бронированный, с наружным покровом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле

Таблица П.2. Окончание

Марка	Напряжение в В	Количество жил	Предель- ные сечения в мм ²	Характеристика	Область применения
АСРБГ	500	2 3 4	4–185	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам
ВРГ НРГ	500 500	1 2 3 4	1–240 1–185 1–185 1–185	С медными жилами, с резиновой изоляцией в по- лихлорвиниловой (В) или найритовой (Н) оболочке	То же
ВРБ НРБ	500 500	2 3 4	4–185	То же, но бронированный и с наружным покровом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле
ВРБГ НРБГ	500 500	2 3 4	4–185 4–240	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам
АВРГ АНРГ	500 500	1 2 3 4	4–185 4–185 4–185	С алюминиевыми жила- ми, с резиновой изоляци- ей в полихлорвиниловой (В) или найритовой (Н) оболочке	То же
АВРБ АНРБ	500 500	2 3 4	4–185	То же, но бронированный и с наружным покровом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле
АВРБГ АНРБГ	500 500	2 3 4	4–185	То же, голый, без покрова из кабельной пряжи	Для прокладки внутри помещений, в тоннелях, каналах, лотках, по стенам
АВВГ АПВГ	660 660	2 3 4	2,5–35	С алюминиевыми жила- ми, с полихлорвиниловой (полиэтиленовой) изо- ляцией, в полихлорвини- ловой оболочке, голый	То же
АВВБ АПВБ	660 660	2 3 4	2,5–35	То же, бронированный, с наружным покровом из кабельной пряжи	Для прокладки в земле

Таблица П.3

Технические данные предохранителей ПР2

Номинальный ток, А		Наибольший отключаемый ток (действующее значение), А				Назначение
предо- храни- телей	плавких вставок	Габарит I		Габарит II		Предназна- чены для ра- боты в сетях постоянного и перемен- ного тока
		при напряжении, В				
		220	380	380	500	
15	6, 10 и 15	1200	800	800	700	
60	15, 20, 25, 35, 45 и 60	5500	1800	4500	3500	
100	60, 80, и 100	11000	6000	11000	10000	
200	100, 125, 160 и 200	11000	6000	11000	10000	
350	200, 225, 260, 300 и 350	11000	6000	13000	11000	
600	350, 430, 500 и 600	15000	13000	23000	20000	

Таблица П.4

Технические данные магнитных пускателей серии ПМЕ и ПА

Пускатель			Наибольшая мощ- ность управляемого электродвигателя, кВт, при напряжении, В			Ток уставки тепловых реле, А		
Тип	Величина	Номиналь- ный ток, А	220	380	500	Номиналь- ный ток, А	Нулевая уставка (но- минальный ток нагре- вательного элемента)	Диапазон установок
ПМЕ- 222	2	25	5,5	10	10	6,25 7,87 10,0 12,5 15,6 20,0 25,0	5 6,3 8 10 12,5 16 20	3,75–6,25 4,72–7,87 6–10 7,5–12,5 9,38–15,6 12–20 15–25
ПА-322	3	40	7	13	17	40	32	24–40
ПА-422	4	56	13	20	28	56	44	33–56
ПА-522	5	115	28	55	55	115	104	78–115
ПА-622	6	140	40	75	75	140	126	94–140

Примечания: 1. Нулевая уставка — уставка в нулевом положении указателя шкалы теплового реле.

2. Регулировка тока уставки реле плавная и производится регулятором уставки. Шкала регулятора тока уставки имеет по пять делений влево (минус) и вправо (плюс) от нулевой риски шкалы. Каждое деление шкалы соответствует примерно 5 % номинального тока нагревательных элементов (тока нулевой уставки) для пускателей открытого исполнения и 5,5 % — для защищенного исполнения.

3. Для магнитных пускателей серии ПА 4, 5 и 6-й величин (с тепловым реле без термокомпенсации) при температуре охлаждающей среды ниже +30 °С вносятся поправка в пределах шкалы реле.

4. Деление шкалы тока уставок без температурной поправки определяется из выражения:

$$\pm N_1 = (I_n - I_o) / c I_o,$$

где I_n — номинальный ток электродвигателя, А; I_o — ток нулевой уставки, А; c — коэффициент цены деления шкалы (0,05 — для открытых пускателей, 0,055 — для защищенных).

Поправка на температуру в пределах делений шкалы:

$$-N_2 = (t_{\text{окр}}^o - 30) / 10^o,$$

где знак минус означает, что поправка вводится только при понижении температуры от номинальной (+40 °С) больше чем на 10 °С.

Результирующее расчетное деление равно

$$\pm N = (\pm N_1) + (-N_2).$$

Если число N дробное, производится округление до целого в большую или меньшую сторону, в зависимости от характера нагрузки.

Пример. Ток электродвигателя $I_n = 54$ А; защищенный пускатель ПА – 422 с током нулевой уставки равным 44 А; температура окружающей среды 15 °С.

Определяем деление шкалы уставок реле:

– уставка реле без поправки на температуру:

$$\pm N = (55 - 44) / 0,055 \times 44 = + 4,91;$$

– поправка на температуру:

$$-N_2 = (15 - 30) / 10 = -1,5;$$

– результирующее расчетное деление шкалы уставок:

$$\pm N = (+4,91) + (-1,5) = + 3,41;$$

округление до +4 деления, если электродвигатель не подвержен частым перегрузкам или имеет запас мощности; до +3 деления, если электродвигатель находится на пределе по нагреву при номинальной нагрузке или в результате частых перегрузок.

5. Технические данные тепловых реле, встраиваемых в пускатели ПМЕ и ПА.

Величина пускателя	Тип реле	Номинальный ток реле, А	Номинальный ток теплового реле, А, при +25 °С (положение регулятора уставки на нуле)	Предел регулирования номинального тока уставки
I	ТРН-8 или ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,25; 3,2; 4; 5; 6,8; 8; 10	От 0,75 I_n до 1,3 I_n
II	ТРН-20 или ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	От 0,74 I_n до 1,3 I_n
III	ТРН-32 или ТРН-40	40	16; 20; 25; 32; 40	От 0,75 I_n до 1,3 I_n
IV	ТРП-60	60	25; 30; 40; 50; 60	От 0,75 I_n до 1,25 I_n
V	ТРП-150	150	50; 60; 80; 100	От 0,75 I_n до 1,25 I_n
VI	ТРП-150	150	100; 120; 150	От 0,75 I_n до 1,25 I_n

Таблица П.5

Автоматические однополюсные выключатели серии АЕ-1031 переменного тока напряжением 220 В на номинальный ток 25 А

Тип автомата и расцепителя (но- минальный ток, А)	Номиналь- ный ток рас- цепителя, А	Ток срабатывания рас- цепителя, А		Предельная отключающая способность автомата, А
		тепло- вого	электромагнит- ного	
Комбинированный				
АЕ-1031-11 (25)	6	8,1	(12–18) $I_{\text{ном. расц.}}$	1000
АЕ-1031-21 (25)	10	13,5		
АЕ-1031-31 (25)	16	21,6		
АЕ-1031-41 (25)	25	33,8		
АЕ-1031-51 (25)	25	33,8		
Электромагнитный				
АЕ-1031-13 (25)	6	–	(12–18) $I_{\text{ном. расц.}}$	1000
АЕ-1031-23 (25)	10	–		
АЕ-1031-33 (25)	16	–		
АЕ-1031-43 (25)	25	–		
АЕ-1031-53 (25)	25	–		
Тепловой				
АЕ-1031-12 (25)	6	8,1	–	1000
АЕ-1031-22 (25)	10	13,5		
АЕ-1031-32 (25)	16	21,6		
АЕ-1031-42 (25)	25	33,8		
АЕ-1031-52 (25)	25	33,8		

Таблица П.6

Автоматические трехполюсные выключатели из серии АЕ-20

Тип автомата и расцепителя (номинальный ток, А)	Номинальный ток расцепителя, А	Ток срабатывания расцепителя, А		Предельная отключающая способность автомата, А
		теплового	электромагнитного	
Электромагнитный				
АЕ-2023 (16)	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5 16	—	12 I _{ном. расц.}	2000
АЕ-2033 (25)	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	—	12 I _{ном. расц.}	3000
АЕ-2043 (63)	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	—	12 I _{ном. расц.}	4000
АЕ-2053 (100)	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	—	12 I _{ном. расц.}	5000
АЕ-2063 (100)	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	—	12 I _{ном. расц.}	6000
Комбинированный				
АЕ-2026 (16)	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5 16	1,25 I _{ном. расц.}	12 I _{ном. расц.}	2000
АЕ-2036 (25)	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	1,25 I _{ном. расц.}	12 I _{ном. расц.}	3000
АЕ-2046 (63)	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	1,25 I _{ном. расц.}	12 I _{ном. расц.}	4000
АЕ-2056 (100)	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	1,25 I _{ном. расц.}	12 I _{ном. расц.}	5000
АЕ-2066 (100)	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	1,25 I _{ном. расц.}	12 I _{ном. расц.}	6000

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

1.3. Класс зоны В-Ia; категория и группа смеси II-A, ТЗ.

1.4. Класс зоны II-I. **1.8.** Класс зоны II-II. **1.12.** Развиваемое избыточное давление взрыва паровоздушной смеси этилового спирта в помещении 2,12 кПа. Помещение относится к взрывопожароопасной категории Б. Объем взрывоопасной смеси составляет 9,05 %. Класс зоны во всем объеме рассматриваемого помещения В-Ia. **2.1.** IP45: (4) — защита от проникновения твердых тел диаметром ≥ 1 мм; (5) — защита от водяных струй, попадающих на оболочку с любого направления из сопла с внутренним диаметром 6,3 мм. **2.1.** (4) — защита от проникновения твердых тел диаметром ≥ 1 мм; (5) — защита от водяных струй, попадающих на оболочку с любого направления из сопла с внутренним диаметром 6,3 мм. **2.3.** Взрывозащищенное электрооборудование, взрывобезопасное по уровню, не имеющее нормально искрящих частей и с принятым дополнительно рядом мер по исполнению, для категорий взрывоопасной смеси IIА, IIВ, IIС и групп взрывоопасной смеси Т1, Т2, ТЗ. **2.5.** 1ExodсIIВТ4 — взрывозащищенное электрооборудование, взрывобезопасное по уровню, по виду — маслonaполненное, взрывонепроницаемое, специального исполнения, категория взрывоопасной смеси IIА, IIВ, температурная группа — Т1-Т4. **2.7.** 1ExiIIСТ4 — взрывозащищенное электрооборудование, взрывобезопасное по уровню, по виду — искробезопасное, рассчитанное на категории взрывоопасной смеси IIА, IIВ, IIС и температурные группы Т1-Т4. **3.1.** Провод с тремя медными жилами, плоский с полихлорвиниловой изоляцией для скрытой прокладки, изоляция рассчитана на напряжение до 500 В, сечение жилы 2,5 мм². **3.2.** Кабель с четырьмя медными жилами в резиновой изоляции, с защитной свинцовой оболочкой, бронированный стальными лентами, с наружным джутовым покровом, сечение жилы 10 мм². **3.3.** Шнур с двумя медными жилами, плоский, в общей оплетке, сечение жилы 1,5 мм². **3.4.** Покрасочный цех относится к взрывоопасным зонам В-Ia, поэтому защита сети освещения в нем должна осуществляться от токов короткого замыкания и перегрузки. **3.5.** Столярный цех относится к пожароопасным зонам II-II, поэтому защита сети освещения

в нем должна осуществляться от токов короткого замыкания и перегрузки. **3.6.** Помещение слесарной мастерской является сухим, нормальным. Электрические сети здесь должны иметь защиту от токов короткого замыкания. **3.7.** зернохранилище относится к пожароопасным зонам П-II, поэтому кабели и провода должны иметь покров и оболочку из материалов, не распространяющих горение. Применение кабелей с горючей полиэтиленовой изоляцией не допускается. Электрические сети здесь должны иметь защиту от токов короткого замыкания. **5.1.** 6,4 кВ.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Безопасный экспериментальный максимальный зазор: наибольшее значение зазора, при котором отсутствует передача взрыва из оболочки в камеру установки для определения категории взрывоопасной смеси.

Ввод: электропроводка, соединяющая наружные электрические сети с внутренними.

Вероятность прорыва молнии в зону защиты: отношение числа ударов молнии в защищенный объект (числа прорывов) к общему числу ударов в молниезащитный объект.

Верхний и нижний концентрационные пределы воспламенения: соответственно максимальная и минимальная концентрации горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей, горючих пыли и волокон в воздухе, выше и ниже которых взрыва не происходит даже при возникновении источника инициирования.

Взрыв: быстрое преобразование веществ (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу.

Взрывозащищенное электрооборудование: электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры по устранению (или затруднению) возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

Взрывоопасная зона: помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси.

Взрывоопасная смесь: смесь с воздухом горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей, горючих пыли и волокон с нижним концентрационным пределом воспламенения не более 65 г/м^3 при

переходе их во взвешенное состояние, которая при определенной концентрации способна взорваться при возникновении источника инициирования взрыва.

Вид взрывозащиты электрооборудования: совокупность средств взрывозащиты электрооборудования, установленная нормативными документами.

Вспышка: быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов.

Горючая жидкость: жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61°C .

Ех – изделие: изделие, которое полностью или частично применяется для использования электрической энергии и включает один или более видов взрывозащиты для условий потенциально взрывоопасной газовой среды.

Жила: токоведущая часть провода. Жила может быть однопроволочной и многопроволочной.

Заземлитель: проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду.

Заземляющий провод: провод, соединяющий корпус электроустановки с заземлителем.

Защитная характеристика: зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем $t_{\text{откл.}}$ от отношения протекающего по вставке тока I к номинальному току $I_{\text{ном}}$ плавкой вставки.

Защитное заземление: совокупность заземляющего провода и заземлителя.

Защитный газ: негорючий газ, который находится в оболочке электрооборудования под избыточным давлением и предотвращает проникновение внутрь оболочки окружающей взрывоопасной среды.

Зона защиты молниеотвода: пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения.

Зоны класса В-I (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании легковоспламеняющихся жидкостей, находящихся в открытых емкостях, и т. п.

Зоны класса В-Ia (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров легковоспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Зоны класса В-Iб (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров легковоспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:

1. Горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок);

2. Помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей).

Зоны класса В-Iг (ПУЭ): пространства у наружных установок — технологических установок, содержащих горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок, выбор электрооборудования для которых производится так же, как и для аналогичных установок в закрытых помещениях), надземных и подземных резервуаров с легковоспламеняющимися жидкостями или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива легковоспламеняющихся жидкостей, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

Зоны класса В-II (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).

Зоны класса В-IIа (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Зоны класса II-I (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых обраща-

ются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С.

Зоны класса П-П (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха.

Зоны класса П-Па (ПУЭ): зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества, и, как уточняется, «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

Зоны класса П-Пш (ПУЭ): зоны, расположенные вне помещений, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Испытание: техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции в соответствии с установленной процедурой по принятым правилам.

Кабель: одна или несколько изолированных жил, заключенных в защитную герметическую оболочку.

Категории электроприемников:

I категория — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется *особая группа электроприемников*, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

II категория — электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

III категория — все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

Классы взрывоопасных зон (Технический регламент о требованиях пожарной безопасности):

1) **0-й класс** — зоны, в которых взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или хотя бы в течение одного часа;

2) **1-й класс** — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей, образующие с воздухом взрывоопасные смеси;

3) **2-й класс** — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования взрывоопасные смеси горючих газов или паров легковоспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварии или повреждения технологического оборудования;

4) **20-й класс** (второй — нулевой класс) — зоны, в которых взрывоопасные смеси горючей пыли с воздухом имеют нижний концентрационный предел воспламенения менее 65 граммов на кубический метр и присутствуют постоянно;

5) **21-й класс** (второй — первый класс) — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации 65 и менее граммов на кубический метр;

6) **22-й класс** (второй — второй класс) — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом при концентрации 65 и менее граммов на кубический метр, но возможно образование такой взрывоопасной смеси горючих пылей или волокон с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования.

Контроль: оценка соответствия путем измерения конкретных характеристик продукта.

Легковоспламеняющаяся жидкость: жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше 61 °С.

Молниеприемник: часть молниезащиты, предназначенная для перехвата молний.

Надзор за соответствием: повторная оценка с целью убедиться в том, что продукция продолжает соответствовать установленным требованиям посредством доказательств.

Напряжение прикосновения: разность потенциалов между точками, к которым одновременно прикоснулся человек.

Обеспечение соответствия: процедура, результатом которой является заявление, дающее уверенность в том, что продукция соответствует заданным требованиям.

Освещение аварийное: служит для временного выполнения необходимых функций при аварийном выходе из строя рабочего освещения.

Освещение безопасности: предназначено для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Освещение комбинированное: представляет собой совокупность общего и местного освещения.

Освещение местное: предназначено для освещения только рабочих мест (стационарное или переносное).

Освещение общее: предназначено для освещения помещения (или его части) с относительно равномерной освещенностью или для локализованного освещения.

Освещение рабочее: обеспечивает надлежащие условия видения при работе (разновидностью такого освещения является охранное освещение, обеспечивающее условия видения вдоль границ охраняемой территории).

Освещение эвакуационное: обеспечивает при аварийном отключении рабочего освещения безопасную эвакуацию людей из помещения.

Особовзрывобезопасное электрооборудование: взрывобезопасное электрооборудование с дополнительными средствами взрывозащиты.

Особоопасные помещения: характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особая сырость;
- химически активная или органическая среда;
- одновременно два или более условий повышенной опасности.

Территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особоопасным помещениям.

Открытые электропроводки: проводки, прокладываемые по стенам, потолкам, фермам на роликах, изоляторах, на тросах, в трубах (резиновых, резино-битумных, полиэтиленовых, винипластовых, бумажно-металлических, стальных).

Оценка соответствия: систематическая проверка степени соответствия заданным требованиям.

Питательная сеть: сеть, предназначенная только для передачи энергии от источника питания до распределительных пунктов. Потребители к ней не присоединяются.

Пожароопасная зона: пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Помещения без повышенной опасности: отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Помещения с повышенной опасностью: характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) — с другой.

Потребитель электрической энергии: электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Предельная температура: наибольшая температура поверхностей взрывозащищенного электрооборудования, безопасная в отношении воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

Приемник электрической энергии (электроприемник): аппарат, агрегат и др., предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

Проверка соответствия: подтверждение соответствия продукции установленным требованиям посредством изучения доказательств.

Провод: одна или несколько изолированных токопроводящих жил, поверх которых могут быть наложены защитные покровы.

Распределительная сеть: сеть, к которой в любой точке могут быть присоединены трансформаторы, а от них и потребители.

Распределительное устройство: коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы,

служащие для приема и распределения электроэнергии.

Распределительный пункт (распределительная подстанция): распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации.

Распределительный щит: распределительное устройство до 1 кВ, предназначенное для управления низковольтными линиями распределительной сети и их защиты.

Расцепитель: реле с относящимися к нему механизмами отключения автомата.

Селективность (избирательность) действия аппаратов защиты: такая их работа, когда на появление сверхтоков (токов короткого замыкания, перегрузки и т. п.) реагирует только ближайший к месту повреждения защитный аппарат и не отключается последующий аппарат.

Сертификация соответствия: основной достоверный способ доказательства соответствия продукции заданным требованиям.

Силовая сборка: распределительный пункт напряжением до 1 кВ в виде распределительных щитов или станций управления.

Система электроснабжения: совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Система – IT: система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

Система – TN: система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена,

а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников.

Система – TN-C: система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении.

Система TN-C-S: система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

Система TN-S: система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении.

Система – TT: система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

Скрытые электропроводки: проводки, прокладываемые в стенах, перекрытиях и полах в трубах (изоляционных, изоляционных с металлической оболочкой, стальных), глухих коробах, замкнутых каналах строительных конструкций, а также специальными проводами под штукатуркой.

Станция управления: комплектное устройство, предназначенное для дистанционного управления отдельными электроприемниками с автоматизированным выполнением функций регулирования, защиты и сигнализации.

Степень пожаровзрывоопасности и пожарной опасности электрооборудования: опасность возникновения источника зажигания внутри электрооборудования и/или опасность контакта источника зажигания с окружающей электрооборудование горючей средой.

Температура вспышки: самая низкая (в условиях специальных испытаний) температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары и газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

Температура самовоспламенения: самая низкая температура горючего вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

Температура тления: самая низкая температура вещества (материалов, смеси), при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением тления.

Токоотвод (спуск): часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Токопровод: устройство, состоящее из плоского или круглого, неизолированного или изолированного проводника и относящихся к нему изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Третья сторона: орган, признанный независимым ни от поставщика (первая сторона), ни от заказчика (вторая сторона).

Удар молнии в землю: электрический разряд атмосферного происхождения между грозовым облаком и землей, состоящий из одного или нескольких импульсов тока.

Уровень взрывозащиты электрооборудования: степень взрывозащиты электрооборудования (надежности) при установленных нормативными документами условиях.

Шнур: провод с особо гибкими скрученными или уложенными параллельно и заключенными в легкие защитные оболочки

изолированными жилами сечением не более 1,5 мм² каждая.

Электрическая подстанция: электроустановка, предназначенная для преобразования, трансформации и распределения электроэнергии между источником и потребителем.

Электрическая сеть: совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии от места ее генерирования к месту потребления, состоящая из системы проводов, снабженной соответствующими аппаратами и приборами для переключений, измерений, трансформации, регулирования напряжения и т. п.

Электрическая травма: ярко выраженное местное нарушение тканей организма (кожи, мышц, костей, связок). Характерными ее проявлениями являются ожоги, электрические кресты, металлизация кожи, механические повреждения.

Электрический удар: возбуждение тканей, вызванное электрическим током в организме и сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц (например, рук, ног). В более тяжелых случаях наблюдаются потеря сознания, нарушение работы сердечно-сосудистой системы или легких, что может привести даже к смертельному исходу. Во многих случаях возникает фибрилляция сердца, т. е. беспорядочные сокращения волокон сердечной мышцы, нарушающие ритмичное нагнетание крови в сосуды и приводящие к остановке кровообращения. При электрическом ударе могут быть и другие виды нарушения деятельности организма – спазмы мозговых и коронарных сосудов, паралич дыхания и т. п.

Электрооборудование: оборудование, предназначенное для производства, передачи, распределения и изменения характеристик (напряжения, частоты, вида электрического тока и др.) электрической энергии, а также для ее преобразования в другой вид энергии.

Электрооборудование повышенной надежности против взрыва: электрооборудование, обеспечивающее взрывозащиту только при нормальном режиме работы оборудования (при отсутствии аварий и повреждений).

Электропомещение: помещения или отгороженные (например, сетками) части помещения, в которых расположено электрооборудование, доступное только для квалифицированного обслуживающего персонала.

Электропроводка: совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и установленными деталями.

Электросварочная установка: комплекс функционально связанных элементов соответствующего электросварочного и общего назначения электротехнического, а также механического и другого оборудования, средств автоматики и КИП, обеспечивающих осуществление необходимого технологического процесса.

Электроснабжение: обеспечение потребителей электрической энергией.

Электротермическая установка: комплекс функционально связанных элементов: специализированного электротермического и другого электротехнического, а также механического оборудования, средств управления, автоматики и КИП, обеспечивающих проведение соответствующего технологического процесса.

Электротермическое оборудование: электротехнологическое оборудование, предназначенное для преобразования электрической энергии в тепловую с целью нагревания (расплавления) материалов.

Электроустановка: совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

N – проводник: нулевой рабочий проводник в электроустановке до 1 кВ, предназначенный для питания однофазных электроприемников и соединенный с заземленной нейтралью трансформатора на подстанции.

РЕ – проводник: защитный проводник, применяемый для каких-либо защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения открытых проводящих частей:

- с другими открытыми проводящими частями;
- со сторонними проводящими частями;
- с заземлителями, заземляющим проводником или заземленной токоведущей частью.

PEN – проводник: совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник в электроустановке до 1 кВ, совмещающий в себе функции нулевого рабочего и защитного проводников.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоматические воздушные выключатели (автоматы)
– с комбинированным расцепителем 117
– с тепловым расцепителем 117
– с электромагнитным расцепителем 117

Антиэлектростатические вещества 229

Антиэлектростатическая специальная одежда 231

Аппараты управления

– бесконтактные 124
– контактные 124

Безопасный экспериментальный максимальный зазор (БЭМЗ) 40, 227

Биметаллический (тепловой) расцепитель 120

Ввод 102

Вероятность возникновения пожара 23

Вероятность прорыва молнии в зону защиты 246

Верхний концентрационный предел воспламенения (ВКПВ) 27

Взрыв 29

Взрывозащищенное электрооборудование

– взрывобезопасное 60
– особовзрывобезопасное 60
– повышенной надежности против взрыва 60

Взрывозащищенные электродвигатели

– взрывонепроницаемые 180
– маслонаполненные 180
– повышенной надежности против взрыва 180
– продуваемые под избыточным давлением 180

Взрывоопасная зона (ВЗ) 31

Взрывоопасные зоны
– 0-й класс 37

– 1-й класс 37

– 2-й класс 37

– 20-й класс 37

– 21-й класс 37

– 22-й класс 39

Взрывоопасная смесь 28

Вид взрывозащиты электрооборудования 60

Воздействие молнии на окружающие объекты

– вторичные воздействия 237, 238

– первичное воздействие или прямой удар 235, 236

Вспомогательные контакты (блок-контакты) 120

Вспышка 26

Вторичные воздействия молнии

– заносы высоких потенциалов 238

– электромагнитная индукция 237

– электростатическая индукция 237

Выравнивание потенциалов 228

Высоковольтные ионизаторы 230

Главная стадия разряда 234

Главный разряд 234

Горючая жидкость 26

Горючая среда 16

Градиент пробоя воздуха 224

Гром 234

Группы взрывозащищенного электрооборудования 62

Группы взрывоопасных смесей 40

ГОСТ Р МЭК 60079-0-2007

– группы электрооборудования 69, 70

– маркировка по взрывозащите для взрывоопасных газовых сред 71, 72

– система уровней взрывозащиты электрооборудования 67, 68

Деление зданий и сооружений по молниезащите

– в соответствии с РД 34.21.122-87 241–243

- в соответствии с СО 153-34.21.122-2003 239–241
- Допустимые длительные токи для проводов и шнуров 104
- Допустимые температуры проводников 103
- Дуговая электропечь 189
- Дуговой разряд 220
- Дугогасительная система автомата 118
- Жила 95
- Защитное заземление 204
- Заземление 228
- Заземлитель 204, 245
- Заземляющий провод 204
- Закон Джоуля–Ленца 17
- Зануление 206
- Защитная характеристика 114, 122
- Защитный газ 61
- Зона защиты
 - одиночного стержневого молниеотвода 251
 - одиночного тросового молниеотвода 253
- Зоны класса В-I 34
- Зоны класса В-Ia 34
- Зоны класса В-Iб 35
- Зоны класса В-Iг 35
- Зоны класса В-II 37
- Зоны класса В-IIa 37
- Зоны класса В-II б 26
- Зоны класса П-II 27
- Зоны класса П-IIa 27
- Зоны класса П-III 28
- Избыточное давление возможного взрыва 32
- Индукционные ионизаторы 230
- Источник зажигания 17
- Кабель 95
- Камеры (помещения) с маслонаполненным электрооборудованием 193
- Карта районирования территории РФ 234
- Категории взрывоопасных смесей 40
- Категории потребителей электроэнергии в части обеспечения надежности электроснабжения
 - I категория 11, 92
 - особая группа 11, 92
 - II категория 92
 - III категория 92
- Количество поражений молнией зданий или сооружений, не имеющих молниезащиты, в год 246, 247
- Комплекс стандартов ГОСТ Р 50571 9
- Комплекс средств молниезащиты 243
- Конструктивное исполнение электрооборудования
 - по способу монтажа 51
 - по способу охлаждения 51, 52
 - по способу защиты от воздействия окружающей среды 53
- Коэффициент s для определения (по упрощенной формуле) сечений проводников и потери напряжения в электропроводах 139
- Коэффициент K , учитывающий климатические условия перед измерением удельного сопротивления грунта 214
- Коэффициент отстройки от тока перегрузки 135
- Коэффициент повышения поля 225
- Коэффициент спроса для силовых потребителей 157
- Коэффициент спроса осветительных нагрузок 134
- Коэффициент теплоотдачи 18
- Коэффициенты использования вертикальных заземлителей и горизонтальных соединительных полос 213
- Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) 27

Лидер 233

Магнитные пускатели 124

Максимальный расцепитель 120

Маслонаполненное оборудование
печных подстанций 193

Маслосборный бак 193

Маслоприемник 193

Меры подавления электростатиче-
ских зарядов 227

Меры по уменьшению объемных и
поверхностных сопротивлений
229

Механизм свободного расцепления
автомата 118

Минимальная энергия зажигания 226

Минимальный расцепитель 120

Молниеприемник 244

Нагревостойкость изоляционных ма-
териалов различных классов 182

Надзор за соответствием 66

Напряжение прикосновения 204

Нейтрализаторы

– аэродинамические 230

– высоковольтные 230

– индукционные 229

– комбинированные 230

– радиоизотопные 230, 231

Нижний концентрационный предел
воспламенения (НКПВ) 27

Обеспечение соответствия 66

Обозначение типов систем заземле-
ния

– система IT 205

– система TN 205

– система TT 205

Общая потребляемая мощность (пол-
ная мощность) 156

Общий коэффициент мощности 156

Огни святого Эльма 233

Освещение

– аварийное 183

– безопасности 183

– комбинированное 183

– местное 182

– общее 182

– рабочее 183

– эвакуационное 183

Отвод электростатических зарядов
с тела человека 231

Отклонение напряжения 105

Открытые электропроводки 101

Относительная плотность газа 224,
225

Оценка соответствия 66

Параметры автоматов 120–122

Параметры предохранителей 113, 114

ПИБРЭ 74

ПИБЭ 74

Плавкая вставка 113

Плавкий предохранитель 113

Пластинчатые предохранители 116

Плотность ударов молнии в землю
234

Пожарная нагрузка 27

Пожароопасная зона 26

Помещения

– без повышенной опасности 200

– особо опасные 201

– с повышенной опасностью 200

Потенциал пробоя 224

Потребитель электрической энергии
10

Правила устройства электроустано-
вок (ПУЭ) 9

Предельная температура 64

Приводы автоматов

– ручные 118

– дистанционные 118

Приемник электрической энергии
(электроприемник) 10

Причины возникновения пожаров 21

Пробочные предохранители 117

Проверка соответствия 66

Провод 95

- Простейшие молниеотводы
– одиночный стержневой 251
– одиночный тросовый 253
- Противопожарные и профилактические мероприятия 22, 100, 180
- Процесс плавки 191
- Прямой удар молнии
– механические воздействия 236
– термические воздействия 236
– электрические воздействия 236
- Пусковой ток электродвигателя 158
- Пусконаладочные работы 86, 87
- Пути распространения пожара 19
- Радиоизотопные нейтрализаторы 230
- Радиус канала дуги 220
- Размеры заземлителей и заземляющих проводников 209
- Разрядный ток
– апериодического отклика 223
– затухающего периодического отклика 222
- Распределение Стиюдента 24
- Распределительная подстанция 13
- Распределительные сети 91
- Распределительный пункт (РП) 13
- Распределительное устройство (РУ) 13
- Распределительный щит 13
- Расчет сечения проводов по допустимой длительной токовой нагрузке 104
- Расчет сечения проводов по потере напряжения 105
- Расчетная мощность электроприемников 133
- Расчетное избыточное давление взрыва 32–34
- Расчетные сопротивления понижающих трансформаторов 131
- Сварочный трансформатор 195, 196
- Светильники
– степени защиты 185
– уровень взрывозащиты 188
- Селективное действие аппаратов защиты 132
- Сертификация соответствия 65
- Силовая сборка 13
- Скрытые электропроводки 102
- Сварочный источник
– сложный 195, 196
- Смешанная распределительная сеть 94
- Снижение интенсивности возникновения электростатических зарядов 229
- Совмещение в одном проводнике или разделении функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников
– N-проводник 205
– PE-проводник 205
– PEN-проводник 206
- Сопротивление заземляющего устройства 206
- Средства электростатической защиты 227–231
- Станция управления 13
- Статистика распределения пожаров по видам электроустановок 20
- Степень защиты пожарозащищенного электрооборудования 55–59
- Стример 234
- Схема магистрального питания 94
- Схема радиального питания 93
- Температура вспышки 26
- Температура самовоспламенения 29
- Температура тления 30
- Температурные классы электрооборудования группы II 63
- Тепловая характеристика токоприемника 115
- Тепловые реле 124
- Токи утечки 203
- Токоотвод (спуск) 244
- Токопровод 111

- Точка удара молнии 251
Требования к аппаратам защиты и управления 126–133
Третья сторона 66
Трубчатые предохранители 117
- Удар молнии в землю 231
Удельная пожарная нагрузка 27
Удельное сопротивление грунта 215
Уровень взрывозащиты электрооборудования 59
Утилизационные коэффициенты 225
- Фактическая потеря напряжения 138
Физиологическое действие электрического тока на человека 202
Формула Ньютона 17, 18
- Характеристики некоторых горючих веществ
– газов 30
– ЛВЖ 30
– пылей 31
Характеристики некоторых диэлектриков
– жидких 19
– твердых 19
- Шаровые молнии 235
Шнур 95
- Электрическая подстанция 12
Электрическая сеть 7, 12, 203
Электрическая травма 201
Электрические печи 188
Электрический удар 201
Электромонтажные работы 86, 110–113
Электронагревательные устройства 187
Электрооборудование 51
Электропомещения 86
Электропроводка 95
Электросварочная установка 194
Электроснабжение 9, 11, 14, 91–94
– система 10
Электростатическая искробезопасность объекта 226
Электротермическое оборудование 187
Электротермическая установка 187
Электроустановка 10

ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий — высшее учебное заведение, реализующее программы высшего профессионального образования, а также образовательные программы послевузовского профессионального образования по подготовке научных, научно-технических и научно-педагогических кадров (адъюнктура). Институт дополнительного профессионального образования (в составе университета) осуществляет переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Сегодня университет является высшим учебным заведением федерального подчинения, имеющим статус юридического лица и реализующим профессиональные образовательные программы высшего, среднего, послевузовского и дополнительного образования.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках направления — «безопасность жизнедеятельности»; вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, бюджетного учета и аудита в организациях МЧС, пожарно-технические эксперты и дознаватели. В 2007 году в Рособрнадзоре аккредитована специализация «Проведение проверок и дознания по делам о пожарах» в рамках специальности «Юриспруденция».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований, постоянный поиск оптимальных путей решения современных проблем позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня на 28 кафедрах университета свои знания и огромный опыт передают 9 заслуженных деятелей науки РФ, 13 заслуженных работников высшей школы РФ, 4 заслуженных юриста

РФ, заслуженные изобретатели РФ и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время в университете осуществляют 2 лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники, 91 доктор наук, 222 кандидата наук, 84 профессора, 121 доцент, 14 академиков, 10 членов-корреспондентов, 5 почетных работника высшего профессионального образования РФ, 2 почетных работника науки и техники РФ.

Начальник университета — Артамонов Владимир Сергеевич, генерал-лейтенант внутренней службы, доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, эксперт Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ по проблемам управления, информатики и вычислительной техники, член Аттестационной комиссии по вопросам присвоения ученых званий профессора и доцента по кафедре, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

В состав университета входят:

- Институт дополнительного профессионального образования;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт безопасности жизнедеятельности.

Три факультета:

- инженерно-технический;
- экономики и права;
- подготовки и переподготовки научных и научно-педагогических

кадров.

Филиал университета: Сибирский филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, г. Железногорск, Красноярский край.

Университет имеет представительства в других городах: Стрижевой (Томская обл.), Магадан, Мурманск, Алматы (Казахстан), Полярные Зори (Мурманская обл.), Махачкала, Выборг (Ленинградская обл.), Чехов (Московская обл.).

В университете созданы:

- учебно-методический центр;
- научно-исследовательский центр;
- центр информационных технологий и систем;
- учебно-научный центр инженерно-технических экспертиз;
- центр дистанционного обучения;

- экспертный центр;
- технопарк науки и инновационных технологий.

Университет осуществляет подготовку по программам высшего и среднего профессионального образования по следующим специальностям:

Специальность	Квалификация	Направление	Специализация	Предназначение
Пожарная безопасность	Инженер (старший техник)	Безопасность жизнедеятельности	Пожаротушение, государственный пожарный надзор	Органы управления и подразделения МЧС России
Психология	Психолог	Гуманитарные науки	Безопасность в ЧС	Психологическое обеспечение деятельности МЧС России
Юриспруденция	Юрист	Гуманитарные науки	Безопасность в ЧС Проведение проверок и дознаний по делам о пожарах	Законодательное и правовое регулирование в обеспечении деятельности МЧС России
Бухгалтерский учет, анализ и аудит	Экономист	Экономика и управление	Бухгалтерский учет, анализ и контроль в бюджетных и некоммерческих организациях	Бюджетный учет и учет в подразделениях МЧС России
Системный анализ и управление	Бакалавр техники и технологии	Автоматика и управление		Подразделения управления силами и средствами
Прикладная математика	Инженер-математик	Информатика и вычислительная техника	Информационные технологии в системе управления ГПС	Аналитические подразделения
Безопасность технологических процессов и производств	Инженер	Безопасность жизнедеятельности		Подразделения МЧС России по охране спец. объектов национального достояния

Специальность	Квалификация	Направление	Специализация	Предназначение
Судебная экспертиза	Судебный эксперт	Гуманитарные науки	Инженерно-технические экспертизы	Дознание по делам о пожарах, испытательные пожарные лаборатории
Автомобили и автомобильное хозяйство	Инженер	Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования	Техническая эксплуатация автомобилей	Автомобильное хозяйство, автопарки МЧС России
Управление персоналом	Менеджер	Экономика и управление	Управление персоналом в организациях МЧС России	Кадровый аппарат подразделения МЧС России
Государственное и муниципальное управление	Менеджер	Экономика и управление	Управление в ЧС	Организация управления в подразделениях МЧС России
Менеджмент организации	Менеджер	Экономика и управление	Менеджмент в материально-техническом обеспечении	Пожарно-технические центры, тыловые подразделения
Организация и технология защиты информации	Специалист по защите информации	Информационная безопасность	Защита информационных процессов в компьютерных системах и вычислительных сетях МЧС России	Обеспечение информационной безопасности в подразделениях МЧС России
Безопасность жизнедеятельности	Учитель безопасности жизнедеятельности	Образование и педагогика		Подготовка преподавателей учебных центров
Защита в чрезвычайных ситуациях	Инженер	Безопасность жизнедеятельности		Органы управления и подразделения МЧС России

Специальность	Квалификация	Направление	Специализация	Предназначение
<i>Дополнительное образование</i>				
На основе специальности «пожарная безопасность»	Переводчик в сфере профессиональной коммуникации	Безопасность жизнедеятельности		Органы управления и подразделения МЧС России

В университете действуют 4 диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим, педагогическим и психологическим наукам.

В университете осуществляется подготовка научных и научно-педагогических кадров, в том числе и на возмездной основе. Подготовка докторантов, адъюнктов, аспирантов и соискателей осуществляется по ряду специальностей технических, экономических, юридических, педагогических и психологических наук.

При обучении специалистов в вузе широко используется передовой отечественный и зарубежный опыт. Университет поддерживает тесные связи с образовательными, научно-исследовательскими учреждениями и структурными подразделениями пожарно-спасательного профиля Азербайджана, Белоруссии, Великобритании, Германии, Казахстана, Канады, Молдавии, США, Украины, Финляндии, Франции, Эстонии и других государств.

Ежегодно в университете проводятся международные научно-практические конференции, семинары и «круглые столы» по широкому спектру теоретических и научно-прикладных проблем, в том числе по развитию системы предупреждения, ликвидации и снижения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, совершенствованию организации взаимодействия различных административных структур в условиях экстремальных ситуаций и др. На базе университета совместные научные конференции и совещания проводили Правительство Ленинградской области и Федеральная служба Российской Федерации по контролю за оборотом наркотических средств и психотропных веществ, научно-технический совет МЧС России и Высшая аттестационная

комиссия Министерства образования и науки Российской Федерации, Северо-Западный региональный центр МЧС России, Международная ассоциация пожарных и спасателей (CTIF).

Вуз является членом Международной ассоциации пожарных «Институт пожарных инженеров», объединяющей более 20 стран мира. В настоящее время университет проводит совместные научные исследования с пожарно-техническими службами США по проблемам борьбы с огнем в условиях низких температур и отдаленных территорий, сотрудничает с Учебным пожарным центром г. Куопио (Финляндия), осуществляет проект по обмену курсантами и профессорско-преподавательским составом с пожарным департаментом г. Линдесберга (Швеция). Разработана и успешно осуществляется программа совместных действий по тушению пожаров на границе России и Финляндии. В целях объединения усилий научных работников и ведущих специалистов в области гражданской защиты для создания более эффективной системы подготовки высококвалифицированных кадров пожарных и спасателей по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также повышения уровня научно-исследовательской и педагогической работы в 2004–2005 гг. учебным заведением были подписаны соглашения о сотрудничестве с Государственным институтом Гражданской Защиты Французской Республики, университетом Восточного Кентукки (США), Центром исправительных технологий Северо-запада США, Государственной пожарной школой Гамбурга (Германия), учебными заведениями пожарно-спасательного профиля стран СНГ.

За годы существования университет подготовил более 1000 специалистов для пожарной охраны Афганистана, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Гвинеи-Бисау, Кореи, Кубы, Монголии, Йемена и других зарубежных стран. В 2008 г. по направлению Международной организации гражданской обороны в университете по программам повышения квалификации обучались сотрудники пожарно-спасательных служб Иордании, Бахрейна, Азербайджана, Монголии и Молдавии.

Компьютерный парк университета составляет около 400 единиц, объединенных в локальную сеть. Компьютерные классы позволяют курсантам работать в международной компьютерной сети Интернет. С помощью сети Интернет обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно

расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса. Необходимая нормативно-правовая информация находится в базе данных компьютерных классов, обеспеченных полной версией программ «Консультант-плюс», «Гарант», «Законодательство России», «Пожарная безопасность». Для информационного обеспечения образовательной деятельности в университете функционирует единая локальная сеть.

Нарастающие сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации учебного процесса. Сегодня университет реализует программы с применением технологий дистанционного обучения, приобретающими статус одной из равноправных форм обучения.

В настоящее время аудитории, в которых проходят занятия, оснащены телевизорами и техникой для просмотра методических пособий на цифровых носителях, интерактивными учебными досками. Библиотека университета соответствует всем современным требованиям: каждое рабочее место читального зала оборудовано индивидуальным средством освещения, в зале установлены компьютеры с возможностью выхода в Интернет, телевизоры и видеотехника для просмотра учебных пособий, произведена полная замена мебели. Общий фонд библиотек составляет сегодня более 320 тыс. экземпляров.

Библиотека выписывает свыше 100 наименований журналов и 15 наименований газет, в том числе обязательные, в соответствии с ГОСВПО. Университет активно сотрудничает с ВНИИПО МЧС России и ВНИИ ГО и ЧС МЧС России, которые ежемесячно присылают свои издания, необходимые для учебного процесса и научной деятельности университета. В работе библиотеки используется автоматизированная библиотечная система ИРБИС, которая включена в единую локальную сеть университета.

Университет обладает современным общежитием для курсантов и студентов учебного заведения. В общежитии созданы интернет-кафе, видеозал, зал для фитнеса.

Поликлиника университета оснащена современным оборудованием, что позволяет проводить комплексное обследование и лечение сотрудников учебного заведения и учащихся.

В университете большое внимание уделяется спорту. Составленные из преподавателей, курсантов и слушателей команды по разным видам спорта — постоянные участники различных спортивных

турниров, проводимых как в Санкт-Петербурге, России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Курсанты и слушатели университета имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей. Налажены связи с театрами и концертными залами города. В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов, как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.

Учебник

Михаил Викторович Агунов
Михаил Дмитриевич Маслаков
Михаил Теодозиевич Пелех

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Выпускающий редактор *М.В. Беглецова*
Корректор *В.В. Вересиянова*
Оригинал-макет *С.В. Кассина*
Дизайн обложки *С.В. Кассина*

Подписано в печать 10.09.2012. Формат 60×90/16
Бумага офсетная. Печать офсетная
Усл.-печ. л. 18,5
Тираж 300 экз. Заказ № 2117

Издательство «Нестор-История»
197110 СПб., Петрозаводская ул., д. 7
Тел. (812)235-15-86
e-mail: nestor_historia@list.ru
www.nestorbook.ru

Отпечатано в типографии «Нестор-История»
198095 СПб., ул. Розенштейна, д. 21
Тел. (812)622-01-23