



Сибирская пожарно-спасательная академия ГП С МЧС России

Минкин А.Н.,  
Едимичев Д.А.,  
Пожаркова И.Н.,  
Трояк Е.Ю.,  
Осавелюк П.А.

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Железногорск

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ  
ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ  
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФГБОУ ВО СИБИРСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
ГПС МЧС РОССИИ



А.Н. Минкин, Д.А. Едимичев, И.Н. Пожаркова, Е.Ю. Трояк, П.А. Осавелюк

## **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Учебное пособие

2-е издание, исправленное и дополненное

*Допущено Ученым советом ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная  
академия ГПС МЧС России в качестве учебного пособия для обучающихся*

**Железногорск  
2023**

УДК 614.83+614.84+621.31  
ББК 38.96  
П46

**Авторы:** Минкин Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
Едимичев Дмитрий Александрович, кандидат технических наук  
Пожаркова Ирина Николаевна, кандидат технических наук, доцент  
Трояк Евгений Юрьевич, кандидат педагогических наук  
Осавелюк Петр Алексеевич, кандидат технических наук

**Рецензенты:**

Сафронова Ирина Геннадьевна, кандидат педагогических наук, доцент,  
начальник кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств  
(ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России)

Малашенков Георгий Николаевич, кандидат технических наук,  
доцент кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи  
(ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России)

Минкин, А.Н. Пожарная безопасность электроустановок [Текст]: учебное пособие/  
А. Н. Минкин, Д. А. Едимичев, И. Н. Пожаркова, Е. Ю. Трояк, П. А. Осавелюк. – 2-е изд.,  
испр. и доп. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС  
МЧС России, 2023. – 230 с. : ил.

Учебное пособие предназначено для использования в образовательном процессе при изучении специальных дисциплин, предусмотренных учебными планами подготовки обучающихся ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России: «Пожарная безопасность электроустановок» (специальность 20.05.01 Пожарная безопасность, направление 20.03.01 Техносферная безопасность), «Электротехника и пожарная безопасность электроустановок» (специальность 40.05.03 Судебная экспертиза), «Безопасность эксплуатации электроустановок» (направление 20.04.01 Техносферная безопасность).

Учебное пособие разработано в соответствии с утвержденными рабочими программами дисциплин по указанным специальностям (направлениям) подготовки. Предназначено для использования на практических занятиях, а также углубления обучающимися теоретических знаний по отдельным разделам дисциплин в рамках самостоятельной работы.

УДК 614.83+614.84+621.31  
ББК 38.96

[https://sibpsa.ru/pb\\_electroust/](https://sibpsa.ru/pb_electroust/)  
ISBN 978-5-906874-93-1

© ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023  
© Минкин А.Н., Едимичев Д.А., Пожаркова И.Н., Трояк Е.Ю., Осавелюк П.А., 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК .....	8
1.1. Статистика и причины пожаров в электроустановках .....	8
1.2. Вероятностная оценка пожароопасности электротехнических устройств.....	29
1.3. Выбор и применение электрооборудования во взрыво- и пожароопасных зонах и помещениях с нормальной средой.....	35
Контрольные вопросы и задания.....	47
2. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ .....	49
2.1. Классификация электрических сетей.....	49
2.2. Обеспечение пожарной безопасности электрических сетей. Выбор проводов и кабелей.....	58
2.3. Аппараты защиты электроустановок .....	64
2.3.1. Плавкие предохранители.....	65
2.3.2. Автоматические выключатели.....	71
2.3.3. Устройства защитного отключения .....	85
2.3.4. Устройства защиты от дугового пробоя.....	98
2.3.5. Устройства защиты от перенапряжений.....	102
Контрольные вопросы и задания.....	111
3. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИЛОВЫХ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	113
3.1. Пожарная безопасность электродвигателей.....	113
3.2. Пожарная безопасность трансформаторов.....	118
3.3. Пожарная безопасность осветительных устройств .....	121



Контрольные вопросы и задания .....	128
4. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАНУЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК .....	130
4.1. Назначение заземлений и занулений .....	130
4.2. Системы защитного заземления .....	132
Контрольные вопросы и задания .....	145
5. МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА .....	147
5.1. Молниезащита .....	147
5.2. Защита от статического электричества.....	161
Контрольные вопросы и задания .....	165
6. НАДЗОР ЗА ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ЗАЩИТЫ ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА .....	167
6.1. Обследование электродвигателей .....	170
6.2. Обследование светильников .....	172
6.3. Обследование пусковых аппаратов и аппаратов защиты .....	173
6.4. Обследование электропроводок .....	175
6.5. Обследование защитного заземления и зануления.....	178
6.6. Обследование взрывоопасных помещений и наружных установок .....	179
6.7. Обследование пожароопасных помещений и наружных установок .....	181
6.8. Обследование электропомещений.....	182
6.9. Обследование аккумуляторных помещений .....	183
6.10. Обследование защитных устройств от статического электричества....	185
6.11. Обследование устройств молниезащиты.....	187
6.12. Обследование электроустановок жилых, общественных и административных зданий .....	187

6.13. Обследование зданий культурно-досуговой деятельности .....	188
Контрольные вопросы и задания.....	190
7. ОСОБЕННОСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА.....	191
Контрольные вопросы и задания.....	207
8. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТОВ ВНОВЬ СТРОЯЩИХСЯ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ.....	208
8.1. Методика чтения электротехнических схем и чертежей.....	208
8.2. Методика чтения схем и чертежей устройств молниезащиты и защиты от статического электричества .....	210
Контрольные вопросы и задания.....	211
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	212
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	213
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	220

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение специальных дисциплин «Пожарная безопасность электроустановок» (специальность 20.05.01 Пожарная безопасность, направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность), «Электротехника и пожарная безопасность электроустановок» (специальность 40.05.03 Судебная экспертиза), «Безопасность эксплуатации электроустановок» (направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность) обеспечивает формирование у обучающихся комплекса теоретических знаний в области пожарной и промышленной безопасности, связанной с проектированием и эксплуатацией различных электроустановок.

К задачам освоения указанных дисциплин относятся:

- рассмотрение особенностей устройств и принципов действия различных электроустановок;
- изучение классификации и маркировок электроустановок, в том числе с точки зрения пожарной безопасности;
- изучение методов расчета основных параметров электроустановок (рабочий и аварийные токи, сечение проводников, температура нагрева проводников и т.д.);
- изучение методов оценки противопожарного состояния электроустановок;
- изучение методик проведения электротехнической экспертизы проектов.

Актуальным является создание учебной литературы, отражающей в объеме специальных дисциплин современные требования в области пожарной безопасности электроустановок, промышленной и электробезопасности, базирующейся на действующих нормативных документах, методиках анализа факторов приводящих к пожару, взрыву от электроустановок или поражению человека электрическим током, а также содержащей сведения о назначении, устройстве, классификации, маркировке

электроустановок, широко применяющихся в настоящее время на производстве, в жилых, административных и общественных зданиях.

В учебном пособии «Пожарная безопасность электроустановок» рассмотрены причины пожаров в различных электроустановках; приведены сведения о способах защиты электроустановок от аварийных, пожароопасных режимов работы; описаны методы выбора аппаратов защиты электроустановок, проводов и кабелей, электрооборудования для пожароопасных и взрывоопасных зон; представлены методики расчета систем защитного заземления, молниезащиты, силовых и осветительных сетей.

# 1. ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

## 1.1. Статистика и причины пожаров в электроустановках

Под термином «электроустановки» следует понимать совокупность машин, аппаратов, линий передач и вспомогательного оборудования (включая сооружения и помещения, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии (например, в тепловую или механическую) [38].

Учитывая обширность и универсальность представленного выше определения необходимо отметить наличие весьма разветвленной классификации электроустановок.

Так, например, все электроустановки следует, прежде всего, классифицировать *по функциональному назначению*:

- **генераторы** (электроустановки, предназначенные для выработки электроэнергии);
- **трансформаторы** (электроустановки, предназначенные для преобразования параметров электроэнергии);
- **кабели и провода** (электроустановки, предназначенные для передачи электроэнергии);
- **распределительные устройства** (электроустановки, предназначенные для распределения электроэнергии потребителям и электроприемникам);
- **электроприемники** (электроустановки, предназначенные для потребления электроэнергии и преобразования ее в другие виды энергии, например, электроосветительные и электротермические установки, электродвигатели и т.д.)

В зависимости от *характеристики тока*:

- электроустановки переменного тока;
- электроустановки постоянного тока.

Причем электроустановки переменного тока могут быть как **однофазными**, так и **трехфазными**.

Важной классификационной характеристикой всех электроустановок является рабочее напряжение. Так, *по напряжению* электроустановки следует делить на:

- **низковольтные** (работающие под напряжением до 1000 В);
- **высоковольтные** (работающие под напряжением выше 1000 В).

Однако следует отметить, что в Российской Федерации существует определенный строгий стандартизованный ряд напряжений (номинальных напряжений). Низковольтные электроустановки переменного тока имеют следующие номиналы: 220, 380, 660 В, встречаются электроустановки работающие на сверхнизком напряжении – 42, 36, 24 и 12 В. Высоковольтные электроустановки переменного тока могут быть под напряжением: 6, 10, 35, 110, 220 и т.д. кВ.

Рабочее напряжение электроустановок предопределяет так называемый режим работы нейтралей, т.е. способ заземления, которое необходимо для обеспечения пожарной и энергетической безопасности. С точки зрения *режимов работы нейтралей*, электроустановки следует делить на:

- электроустановки напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью;
- электроустановки напряжением от 6000 до 35 000 В с изолированной нейтралью;
- электроустановки напряжением от 6000 до 35 000 В с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор;
- электроустановки напряжением 110 кВ с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;

- электроустановки напряжением выше 220 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Более подробно режимы работы нейтралей и их влияние на пожарную безопасность электроустановок описаны в главе 4 настоящего пособия.

С точки зрения места размещения электроустановок и их *защищенности от внешних воздействий* все электроустановки принято делить на [29]:

- закрытые, или внутренние, электроустановки (расположенные в зданиях, защищающих электроустановки от атмосферных воздействий);
- открытые, или наружные, электроустановки (расположенные вне зданий, а также защищенные только сетчатыми ограждениями или обычными навесами).

Представленная классификация электроустановок в целом предопределяет их опасность, в том числе с точки зрения возникновения пожаров. Согласно статистическим данным, на территории Российской Федерации происходит около 50 000 пожаров, причиной которых является эксплуатация электроустановок, что, в свою очередь, составляет до 25 % от общего количества пожаров в стране (рис. 1–2) [39, 40]. Большая часть пожаров (до 70–75%), связанных с электроустановками, приходится на жилой сектор (рис. 3) [40], что обусловлено низкой культурой знаний безопасности среди жителей многоквартирных и одноэтажных домов, а также недостаточностью контроля надзорных органов и управляющих компаний. Однако пожары в электроустановках также регулярно возникают и в различных промышленных и непромышленных организациях. Пожары, возникающие вследствие эксплуатации электрооборудования на производственных объектах, составляют до 7–10 % всех случаев, но при этом по масштабу последствий и ущербу они занимают лидирующее место.

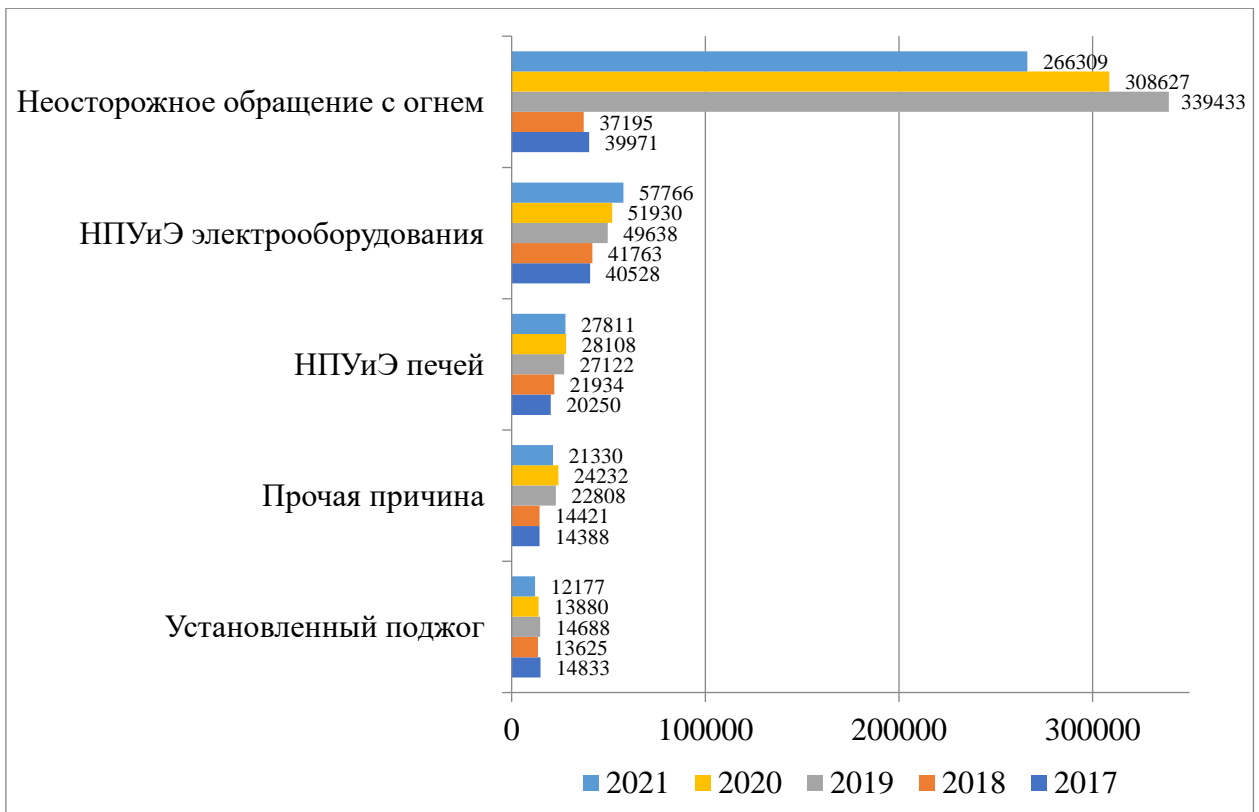


Рисунок 1 – Количество пожаров за 2017–2021 гг., ед.

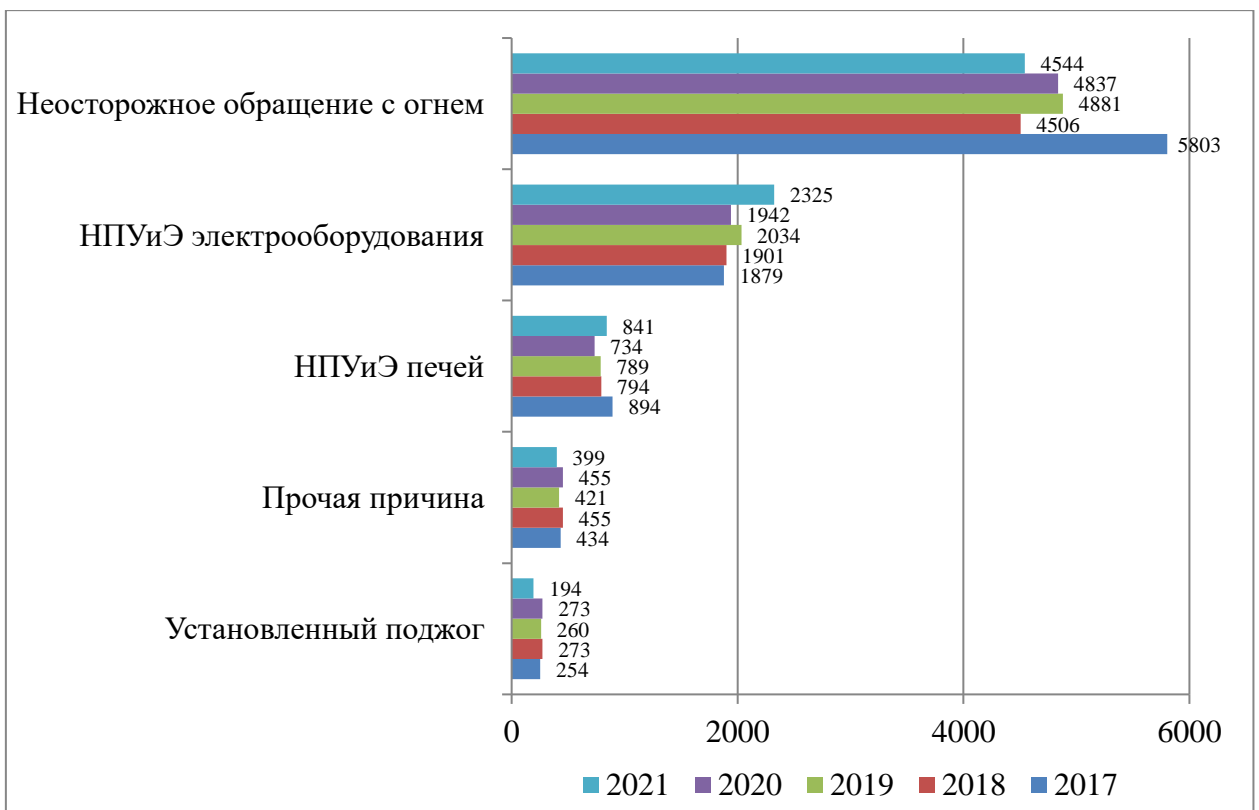


Рисунок 2 – Количество погибших от пожаров за 2017–2021 гг., чел.



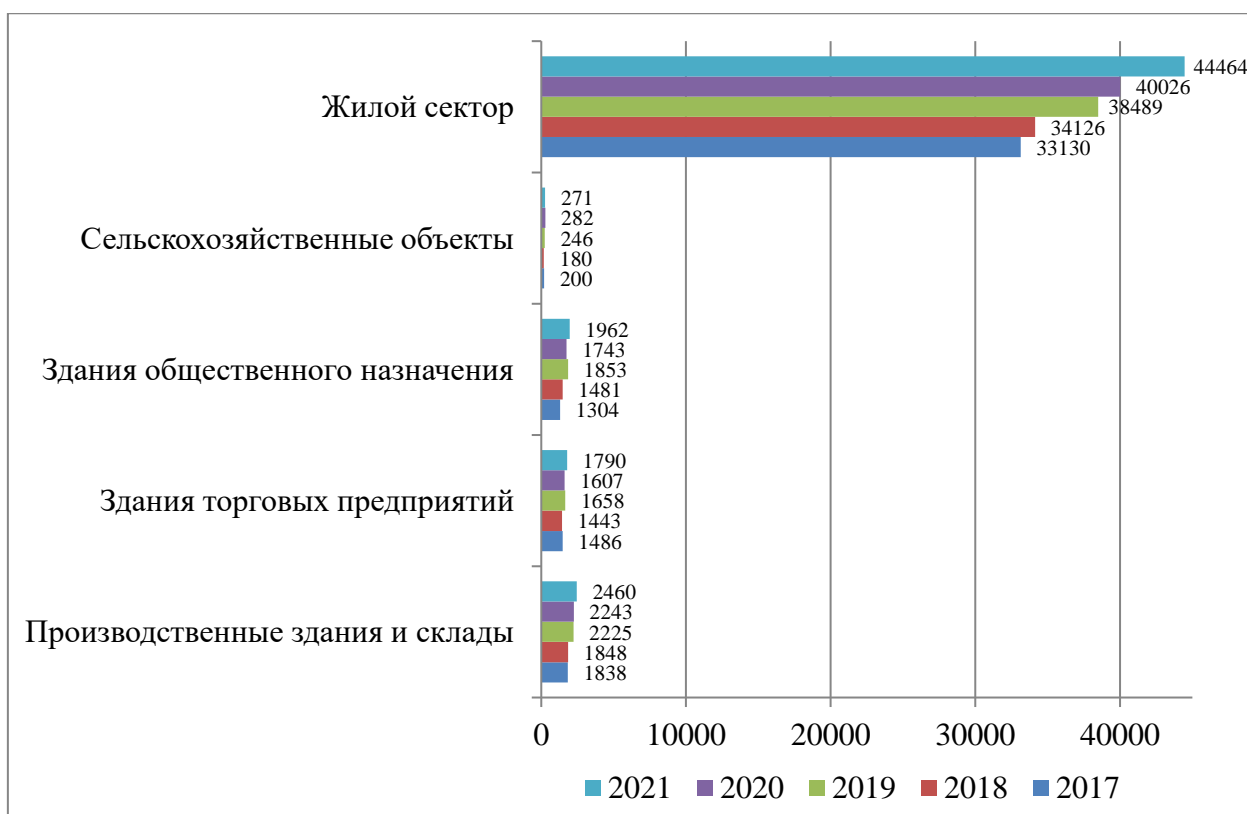


Рисунок 3 – Количество пожаров за 2017–2021 гг., возникших по причинам нарушения правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов, ед.

Высокая доля пожаров, возникающих вследствие неправильного устройства и эксплуатации электроустановок, объясняется тем, что сами электроустановки являются мощными источниками потенциальной энергии различных форм (электрической, тепловой, механической). Причем следует учитывать тот факт, что электроустановки представляют опасность, как в аварийных, так и в нормальных режимах работы. Даже при нормальной работе электроустановок могут возникать высокотемпературные участки, способные воспламенить электрическую изоляцию, корпуса и оболочки электрооборудования, а также конструктивные элементы зданий и сооружений, примыкающих к электроустановкам. Аварийные же режимы работы электроустановок резко повышают опасность загораний и пожаров из-за возникающих в электрической цепи перегрузок, коротких замыканий, зачастую приводящих к образованию электрической дуги, искр или пламени.

Основные причины пожаров электроустановок при аварийных режимах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Причины пожаров аварийных электроустановок

Причины возникновения пожара	Относительное количество пожаров (примерно), %
<b>Короткое замыкание</b> – замыкание, возникающее в результате нарушения электрической изоляции токоведущих частей с различным потенциалом и последующим контактом этих токоведущих частей друг с другом (например, образование электрического контакта между фазными или между фазным и нулевым проводником)	До 45
<b>Перегрузка</b> – явление, возникающее в результате несоответствия потребляемой мощности электроустановок и сечения питающих линий или в результате несоответствия механических и электрических нагрузок (для электродвигателей и генераторов)	До 15
<b>Перегрев</b> – явление, возникающее как результат перегрузки, а также вследствие нарушенной теплоотдачи от электроустановок в окружающую среду	До 30
<b>Большое переходное сопротивление</b> – явление, возникающее в местах контактных соединений, приводящее к значительному увеличению электрического сопротивления на данном участке, что впоследствии вызывает значительный локальный температурный нагрев	До 5
<b>Искрение, электрическая дуга</b> – явления, возникающие при коммутациях (включение и отключение) электрических цепей без использования специальных коммутационных аппаратов дугогасительных устройств, и приводящие к появлению открытого источника зажигания	До 2,5
<b>Токи Фуко</b> (вихревые токи) – явление, возникающее в результате наведенной электродвижущей силы на металлических частях электроустановок, находящихся в зоне влияния значительного переменного электромагнитного поля, приводящее к образованию искр или электрических дуг	До 2,5

Отдельно следует отметить возникновение пожаров в электроустановках в результате атмосферных перенапряжений (ударов молнии). Удары молнии могут нести как прямую угрозу возникновения пожаров, так, например, попадание молнии в линию электропередач может вызвать значительное перенапряжение в сети, спровоцировав тем самым нарушение электрической изоляции электроустановок, что, в свою очередь, приведет к короткому замыканию. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что даже не прямой удар молнии вблизи линий электропередач и электроустановок способен вызывать в них токи Фуко и в результате привести к возникновению пожара из-за наведенных перенапряжений и проскакивающих искр или электрических дуг. Гистограмма пожаров, возникших в результате грозных разрядов, представлена на рис. 4 [40].

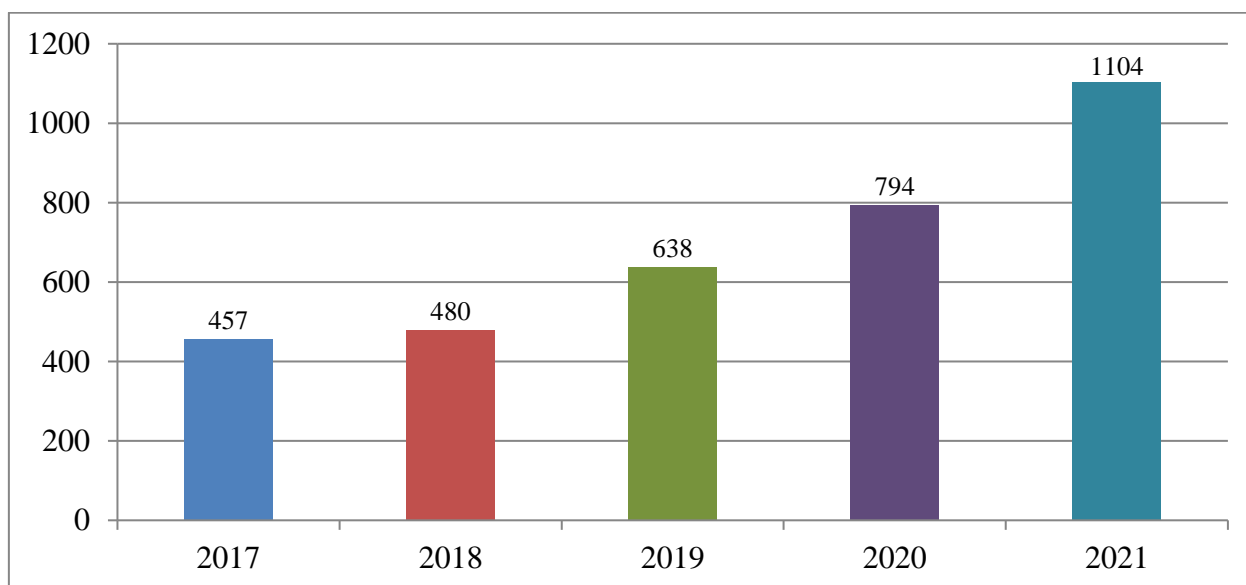


Рисунок 4 – Количество пожаров за 2017–2021 гг., возникших в результате грозных разрядов, ед.

Все промышленные и непромышленные предприятия, жилые объекты, учреждения эксплуатируют большое количество самых разнообразных электроустановок, а поэтому нуждаются в качественной и бесперебойной работе систем электроснабжения.

Известно, что вся потребляемая электроэнергия изначально вырабатывается на электростанциях, расположенных, как правило, вблизи

источников первичной энергии. Так, например, мощные тепловые электростанции расположены вблизи богатых угольных месторождений, гидроэлектростанции возводят исключительно на полноводных реках. Все электростанции связаны как с потребителями, так и между собой через единую (объединенную) **энергосистему**. Объединенная энергосистема позволяет распределять электрическую нагрузку между регионами России, что, в свою очередь, значительно увеличивает надежность и экономичность электроснабжения, повышает качество электроэнергии.

Часть энергосистемы, объединяющая в себе генераторы, распределительные устройства, линии электропередач, трансформаторные подстанции, электроприемники (потребители), называется **электрической системой**. Часть электрической системы, которая включает в себя только линии электропередач и трансформаторные подстанции, называется **электрической сетью**. Электрические сети принято делить на **питающие, распределительные и групповые**.

Питающая электрическая сеть осуществляет транспортировку электроэнергии от электрических подстанций до вводных и вводно-распределительных устройств потребителей. Распределительная сеть передает электроэнергию уже от вводных и вводно-распределительных устройств потребителей до распределительных пунктов. Групповая сеть – непосредственно от распределительных пунктов к электроприемникам (светильникам, электродвигателям, розеткам и т.д.).

Таким образом, обеспечение потребителей электроэнергией принято называть **электроснабжением**, а совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией, – **системой электроснабжения** [29].

Как было уже отмечено, электроустановки имеют весьма обширную классификацию, но при этом их можно объединить в группы по наиболее характерным признакам: функциональному назначению, конструктивному исполнению, электрическим параметрам и характеристикам.

Рассмотрим подробнее главные причины пожаров основных групп электроустановок [40, 44] (рис. 5).

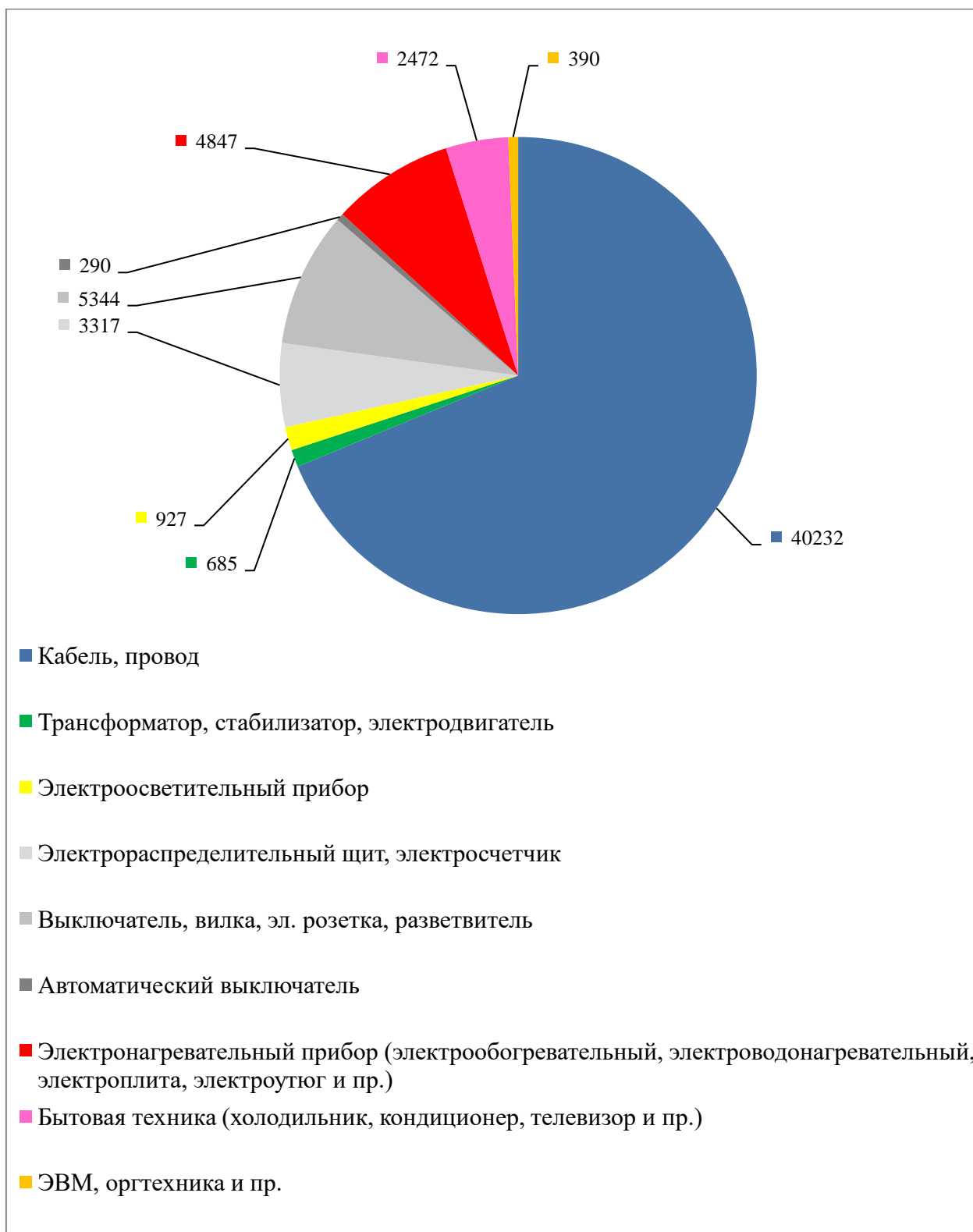


Рисунок 5 – Распределение пожаров, произошедших в 2021 гг., по группам электроустановок, на которых (от которых) возник пожар, ед.

## Причины пожаров *кабелей и проводов*:

1. Тепловая энергия, выделяемая при **коротких замыканиях**, возникающих в фазных жилах или между фазной и нулевой жилой в результате:

- пробоя изоляции от возникшего перенапряжения (например – грозового) в сети;
- пробоя изоляции вследствие образования в ней микропустот и микротрещин в процессе эксплуатации или заводского дефекта;
- пробоя изоляции по причине ее усушки и хрупкости в процессе старения (рис. 6);
- пробоя изоляции из-за значительного локального падения электрического сопротивления (как правило, при сильном увлажнении)
- пробоя изоляции, возникшего под воздействием агрессивной среды (кислот, щелочей, нефтепродуктов);
- случайного контакта токоведущих жил между собой или между токоведущей жилой и нейтралью;
- умышленного контакта токоведущих жил между собой или между токоведущей жилой и нейтралью.

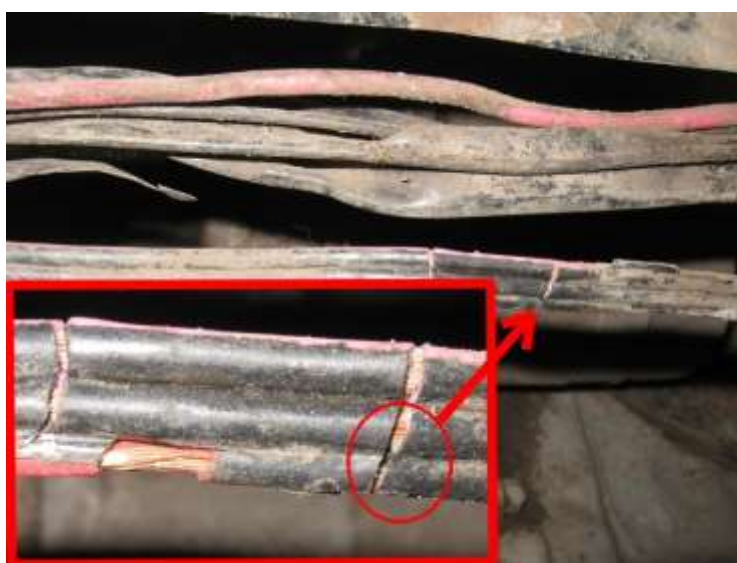


Рисунок 6 – Пробой электрической изоляции, возникающий в процессе ее старения

2. Тепловая энергия, выделяемая при **перегрузках** в результате:

- увеличения суммарной потребляемой мощности в сети (при подключении большого количества потребителей к одному проводу или кабелю);
- возникновения значительных токов утечки вследствие уменьшения электрического сопротивления как между токоведущими частями электроустановок, так и между токоведущей частью и заземленной частью (корпус электроустановки);
- перегрев электрической изоляции в процессе увеличения температуры окружающей среды, нарушения нормального теплоотвода и охлаждения.

3. Тепловая энергия, выделяемая при **нагреве контактных соединений** в результате ослабления или окисления контактного соединения токоведущих жил и, как следствие, значительного увеличения переходного сопротивления (рис. 7).

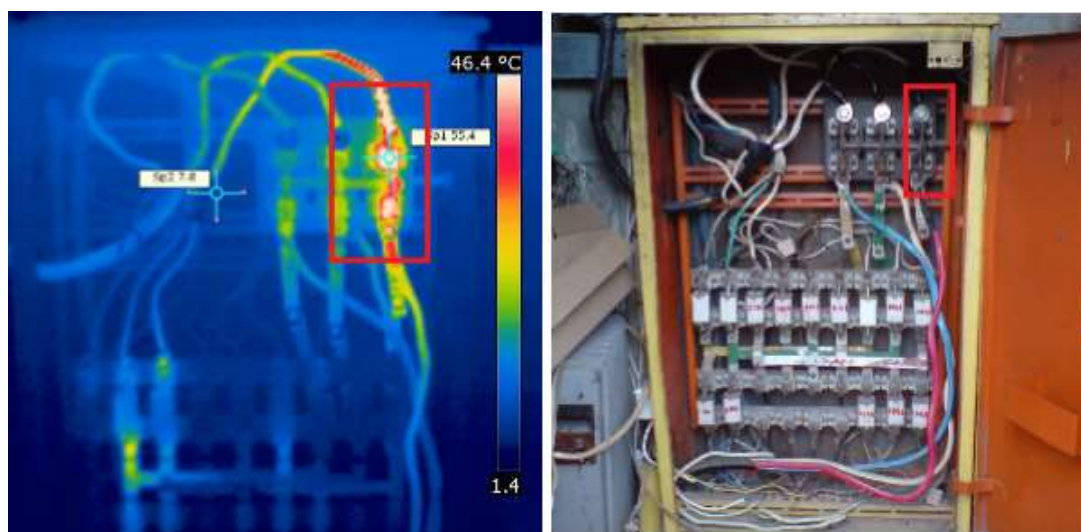


Рисунок 7 – Нагрев контактного соединения в распределительном устройстве из-за недостаточной затяжки болта (слева – термограмма, полученная при тепловизионном обследовании)

Анализируя причины пожаров в кабельных линиях и проводах, следует отметить, что короткие замыкания, зачастую не являются первопричиной, а выступают лишь следствием тех деструктивных явлений, которые протекают

в электрической изоляции при эксплуатации электроустановок. Кроме того, электрическая изоляция сама по себе горючая, что обуславливает пожарную опасность проводов и кабелей, способствует распространению огня в кабельных сооружениях, лотках и коробах с проводами.

Причины пожаров *трансформаторов, электродвигателей и генераторов:*

1. Тепловая энергия, выделяемая при **межвитковом пробое** электрической изоляции в обмотке в результате:

- старения электрической изоляции;
- воздействия влаги;
- воздействия агрессивной среды;
- заводских дефектов;
- из-за перегрева или перегрузки электрооборудования;
- механического повреждения.

2. Тепловая энергия, выделяемая при **пробое на корпус** электрической изоляции обмотки в результате тех же причин, что и при межвитковом пробое.

3. Тепловая энергия, выделяемая при **токовой перегрузке** обмоток в результате следующих условий:

- превышение номинальной механической нагрузки на валу;
- неполнофазный режим (работа трехфазного электродвигателя на двух фазах);
- износ подшипников или отсутствие смазки в них;
- непрерывная и длительная работы электродвигателя под максимально-допустимой нагрузкой на валу;
- неисправности охлаждения обмоток (вентиляции) (рис. 8);
- завышенные частоты включения, выключения и реверсирования двигателя;
- нарушения режима запуска электродвигателей.



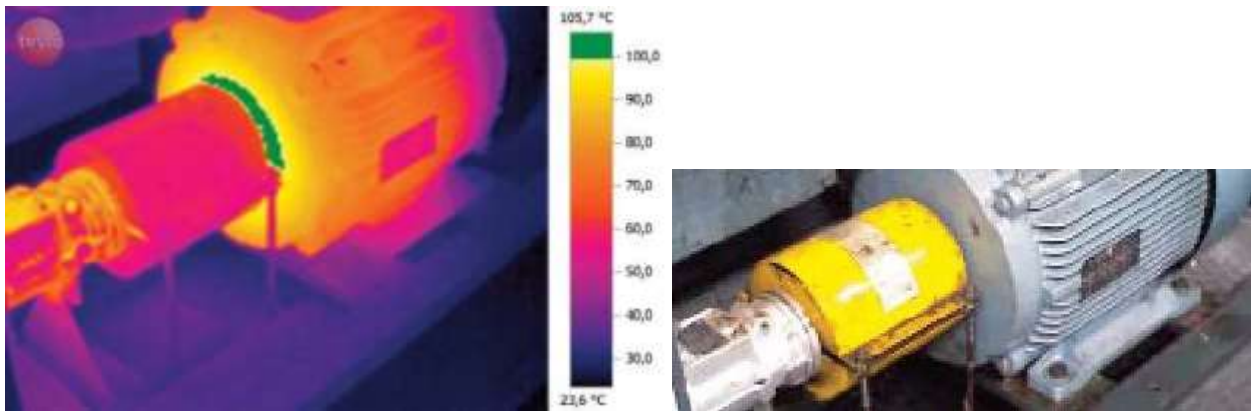


Рисунок 8 – Термограмма электродвигателя при неисправной системе охлаждения

4. Тепловая энергия, выделяемая при **искрении** в коллекторе или контактных кольцах в результате:

- износа или механического повреждения щеток, коллектора и контактных колец (рис. 9);
- неправильная установка токосъемных элементов на коллекторе;
- превышение номинальной механической нагрузки на валу (для электродвигателей);
- превышение номинального тока в цепи (для генераторов);
- замыкания в пластинах коллектора вследствие образования на них токопроводящих мостиков из металлической и угольной пыли.



Рисунок 9 – Искрение в контактно-щеточном механизме электродвигателя

Пожары в электродвигателях возникают по весьма разнообразным причинам, однако любая отмеченная выше причина неизбежно приводит к разрушению электрической изоляции обмоток электродвигателя или генератора, что впоследствии, так или иначе, вызывает ее пробой с проявлением короткого замыкания. Высокая пожарная опасность электродвигателей и генераторов обусловлена не только наличием горючей изоляции обмоток, но и зачастую горючими отложениями пыли или волокон, неизбежно скапливающихся как на поверхности, так и внутри электрических машин. Пожарная опасность электрических машин резко повышается в тех случаях, когда их эксплуатация осуществляется в пожаро- и пожаровзрывоопасных зонах, где даже незначительное проявление тепловой энергии может приводить к возгоранию или взрывам.

**Трансформаторы**, в отличие от электродвигателей и генераторов, не имеют в своем устройстве вращающихся частей, поэтому такие явления, как искрение, «круговой огонь», перегрев подшипников или отсутствие смазки, там невозможны. Пожары в трансформаторах, как правило, возникают по следующим причинам:

- перегрузки в энергосистеме;
- короткие замыкания в отходящих линиях;
- межвитковые замыкания в обмотках трансформатора;
- атмосферные (грозовые) перенапряжения;
- коммутационные перенапряжения (возникающие при включениях–отключениях).

Причем, короткие замыкания или перегрузки в энергосистеме иногда приводят к весьма значительному перегреву обмоток трансформатора, что в дальнейшем вызывает их пробой. Перенапряжения, возникающие как результат попадания молнии в линию или в результате переключений трансформатора, также деструктивно влияют на состояние изоляции обмоток трансформатора, значительно снижая их диэлектрическую прочность и ресурс эксплуатации. Оценивая пожарную опасность трансформаторов,

необходимо учитывать их систему охлаждения, которая может быть как воздушной, так и масляной. Большой популярностью, особенно в трансформаторах большой мощности, пользуется масляная система охлаждения. Трансформаторное масло при этом одновременно играет роль как теплоносителя, охлаждающего обмотки трансформатора, так и изолятора, исключающего появление высокого потенциала на корпусе трансформатора. Однако именно масляные трансформаторы вследствие свойств трансформаторного масла отличаются исключительной пожарной опасностью. Это обусловлено как горючестью трансформаторного масла, так и применяемыми при эксплуатации трансформатора его объемами – до нескольких десятков тонн. Замыкания или перегревы, возникающие внутри масляного трансформатора, приводят к кипению масла, увеличению давления, выделению горючих газов и к загоранию.

Причины пожаров *электроосветительной* аппаратуры:

1. Тепловая энергия, выделяемая от **электрического пробоя** изоляции и **ослабления** контактных соединений, может способствовать возгоранию в результате:

- потери электроизоляционных свойств конструктивных элементов светильника или прожекторов из-за старения изоляции, загрязнения, отложения пыли и воздействия агрессивной среды;
- снижения контактного давления в местах подсоединения проводов к светильнику или источников света к проводам;
- окисления контактных соединений в местах подсоединения источника света (в цоколе лампы или ламподержателе);
- применения ламп завышенной по отношению к светильнику мощности, приводящего к перегреву изоляции и быстрому окислению контактных соединений.

2. Тепловая энергия в пускорегулирующей (прежде всего дроссельной) аппаратуре люминесцентных ламп и газоразрядных ламп высокого давления (например, марки ДРЛ), возникающая в результате:

- неисправности стартера, приводящей к перегрузке дроссели или перегреву светильника;
- нарушения нормального охлаждения (теплоотвода) корпуса светильника или прожектора при сильной загрязненности или запыленности;
- увеличенного рассеяния мощности в дросселе при ослаблении крепления его магнитного сердечка;
- межвиткового замыкания в трансформаторе бесстартерных схем;
- электрического пробоя сетевого конденсатора в бесстартерной схеме.

Отдельно выделим пожарную опасность самих источников света – ламп. Большую опасность ввиду специфики устройства представляют **лампы накаливания** или их разновидность – **лампы галогенные**. Данные типы ламп отличаются наличием в них нити накаливания, что обуславливает их значительный нагрев, в том числе корпуса и колбы (рис. 10), и большую потребляемую мощность. При использовании ламп накаливания в помещениях, загрязненных горючей производственной пылью (зерновой, древесной, мучной), возможен значительный перегрев колбы из-за оседания пыли и, как следствие, ее загорание. Также возможны загорания материалов и продукции при несоблюдении расстояний от светильников с лампами накаливания до них. Поскольку лампы накаливания являются довольно мощным источником инфракрасного излучения, то в соответствии с требованиями Правил противопожарного режима в РФ [27] от светильников до горючих материалов расстояние должно составлять не менее 0,5 м; линзовые прожекторы, прожекторы и софиты размещаются на безопасном от горючих конструкций и материалов расстоянии, указанном в технической документации на эксплуатацию изделия.

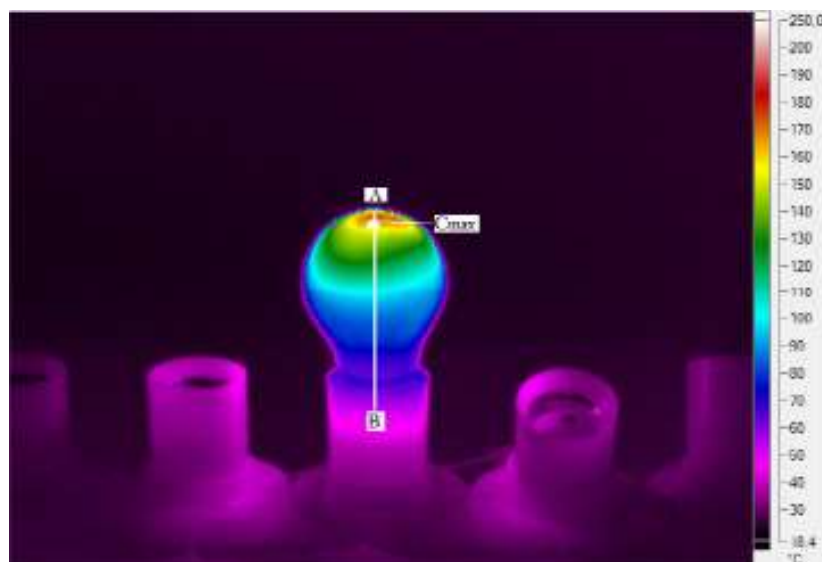


Рисунок 10 – Термограмма лампы накаливания мощностью 75 Вт

Температура на поверхности колбы лампы накаливания или галогенных ламп может достигать 500 °С, что способно привести к воспламенению таких популярных при отделке помещений материалов, как бумага, древесина, полиэтилен, акрил, полипропилен, поливинилхлорид и др.

Кроме того, отмечаются случаи загораний и пожаров по причине использования лампы накаливания в светильниках, рассчитанных на другие виды ламп (например, светодиодных или люминесцентных) и на значительно меньшую мощность. Использование в них лампы накаливания приводит к оплавлению пластмассовых плафонов, держателей, значительному нагреву контактных соединений.

Рассматривая **газоразрядные лампы** высокого и низкого давления (**люминесцентные**), а также **светодиодные лампы** (рис. 11), следует отметить их сниженную пожарную опасность из-за невысоких температур нагрева наружной колбы, что обусловлено высоким КПД лампы и низким энергопотреблением.

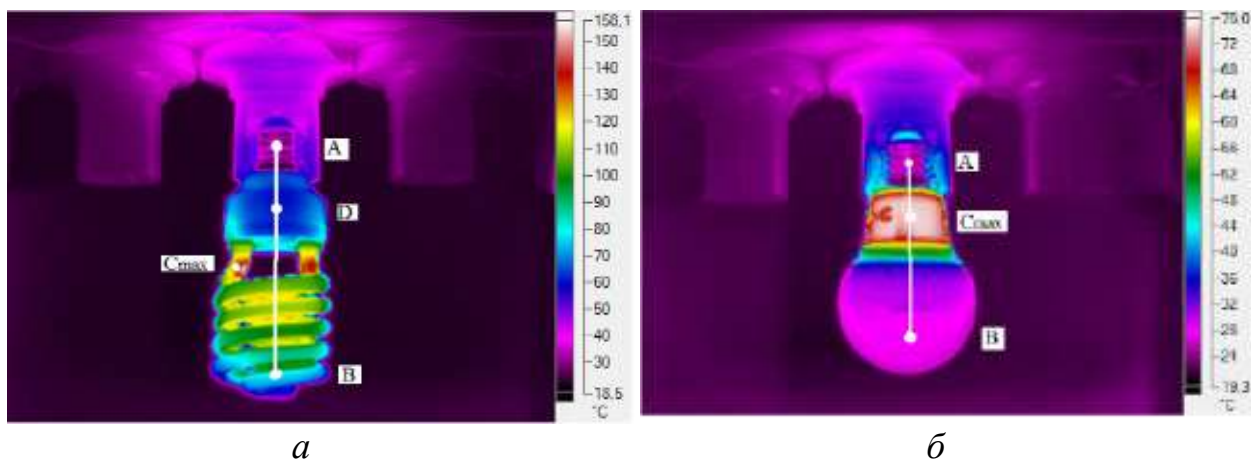


Рисунок 11 – Термограмма энергосберегающих ламп:  
*a* – компактная люминесцентная; *б* – светодиодная

Тем не менее, светильники люминесцентных ламп, выполненные по схеме стартерного пуска (без дополнительного устройства в виде токовой защиты), не отвечают в полной мере требованиям пожарной безопасности. В таких светильниках неисправность стартера может привести к значительному увеличению тока в цепи, что вызовет перегрев обмоток дросселя, и в результате может произойти пробой изоляции с проявлением короткого замыкания. Ситуацию усугубляет и использование в стартерных схемах бумажных конденсаторов.

В настоящее время все большей популярностью пользуются светильники, работающие по безстартерной схеме (например, с электронным балластом), лишенные обозначенных выше недостатков.

Анализируя пожарную опасность светильников с энергосберегающими лампами, необходимо отметить повышенную опасность так называемых световых полос, набирающих популярность при освещении фасадов зданий и декоративного освещения помещений. Подобные конструкции светильников ввиду их компактности и использования горючих материалов имеют худшие условия охлаждения, что выдвигает к ним повышенные требования пожарной безопасности.

Причины пожаров в *распределительных устройствах и пускозащитных аппаратах:*

1. Тепловая энергия, выделяемая в обмотке электромагнита магнитного пускателя из-за межвиткового замыкания в результате **пробоя** изоляции, может быть обусловлена:

- старением и воздействием внешней агрессивной среды;
- искрением контактов;
- повышенной влажностью внешней среды;
- механическими повреждениями;
- повышенным напряжением сети.

2. Тепловая энергия, выделяемая в обмотке электромагнита магнитного пускателя из-за **токовой перегрузки** в результате:

- повышенной частоты коммутаций (включений и отключений);
- механических повреждений, приводящих к недотягиванию подвижной части сердечника до замыкания с магнитной катушкой;
- повышенного напряжения питания обмотки.

3. Тепловая энергия, выделяемая в **конструктивных элементах** распределительного устройства в результате:

- значительного увеличения переходного сопротивления в местах подключения токоведущих проводников из-за ослабления в них контактного давления или окисления;
- износа и окисления контактных поверхностей, приводящих к искрению рабочих контактов;
- образования электрической дуги или искры из-за неисправности дугогасительных устройств;
- электрического пробоя вследствие снижения сопротивления изоляции конструктивных элементов и корпуса.

Статистические данные (рис. 5) свидетельствуют о том, что значительная часть пожаров, возникающих в электроустановках, приходится на распределительные устройства и щитки. Это вызвано повышенной пожарной опасностью пускозащитных аппаратов. В качестве аппаратуры защиты и управления могут применяться различные плавкие вставки,

автоматические выключатели и устройства защитного отключения, магнитные пускатели, реле и т.д. Достаточно часто наблюдается перегрев магнитных пускателей (рис. 12), что вызвано ослаблением давления в контактах или в подвижном якоре, а также повышенным напряжением в катушке и загрязнением токоведущих частей.



Рисунок 12 – Термограмма магнитного пускателя в распределительном устройстве

Отмечены случаи пожаров и загораний вследствие неисправных дугогасительных камер, входящих в состав магнитных пускателей, предохранителей и автоматических выключателей. Коммутация в подобных аппаратах зачастую происходит под большой нагрузкой или даже в аварийном режиме, что вызывает значительный ток в цепи и, как результат, образование электрической дуги. Температура образовавшейся дуги может достигать нескольких тысяч градусов, что приводит к расплавлению и разбрызгиванию металла, воспламенению горючей изоляции.

Грубым нарушением требований пожарной безопасности является применение металлических перемычек («жучков») в местах подключения предохранителей или автоматических выключателей. Использование подобных перемычек приводит к отсутствию защиты в электрической цепи и в случае замыкания или перегрузки неизбежно вызовет сильный нагрев на любом участке цепи и возгорание.



Значительная часть потребляемой электроэнергии уходит на обогрев помещений (отопление), подогрев продукции или материалов (например, воды в котлах) и поддержание температурного режима в технологических процессах (электроплавильные печи). При этом во всех случаях используются **электронагревательные приборы** различной конструкции, которые также отличаются повышенной пожарной опасностью, особенно в технологических процессах, связанных с обращением в них пожаровзрывоопасных веществ и материалов. Повышенная пожарная опасность всех подобных приборов прежде всего обусловлена наличием в них электронагревательных элементов (нередко открытых), которые при нормальном режиме работы способны достигать температуры на поверхности в несколько сотен градусов (рис. 13).

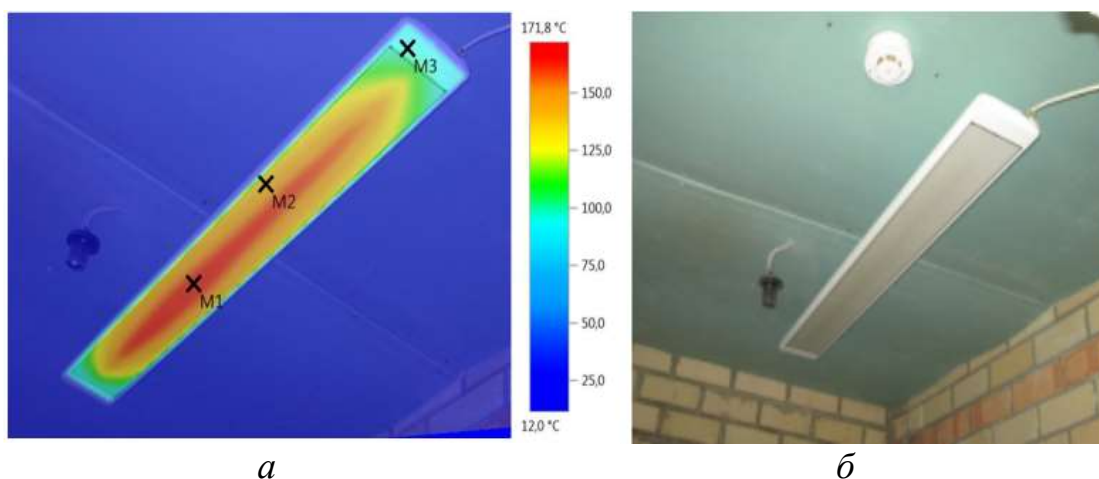


Рисунок 13 – Нагрев теплофона:  
а – термограмма теплофона; б – общий вид теплофона

Причины пожаров из-за *электронагревательных приборов* могут следующими:

- соприкосновение пожароопасных и пожаровзрывоопасных материалов (предметов) с открытыми нагревательными поверхностями;
- инфракрасное (тепловое) излучение от электронагревательных приборов, приводящее к нагреву горючих материалов или предметов, находящихся поблизости;

- значительная токовая перегрузка, возникающая при включении одного или нескольких нагревательных приборов в сеть, рассчитанную на меньшие допустимые токи;
- выкипание нагреваемой жидкости (например, воды в котлах), приводящее к деформации нагревательных элементов (ТЭНов) и в результате – к электрическому замыканию;
- разрушение электрической изоляции нагревательных приборов;
- окисление в контактах нагревательных приборов, приводящее к значительному возрастанию переходного сопротивления.

## **1.2. Вероятностная оценка пожароопасности электротехнических устройств**

Вероятность возникновения пожара в электроустановках является интегральным показателем, учитывающим такие параметры, как:

- 1) надежность электроустановки (характеризуется интенсивностью отказов);
- 2) надежность защитной аппаратуры (электрической и тепловой);
- 3) вероятность достижения критической температуры частями электроустановок, прилегающими конструкционными материалами, веществами и материалами, находящимися в зоне теплового излучения от электрооборудования, в зоне воздействия электрической дуги или разлетающихся раскаленных частиц.

Электроустановка может считаться безопасной при условии, что она прошла испытания в характерном пожароопасном режиме и вероятность возникновения пожара в ней не превышает  $10^{-6}$  в год (не более одной миллионной в год) [5]. Причем все элементы, входящие в устройство электроустановки (реле, транзисторы, трансформаторы, клеммные зажимы, резисторы, конденсаторы и т.д.), также должны отвечать требованиям пожарной безопасности соответствующих нормативно-технических

документов. Кроме того, важно определение значения интенсивности пожароопасных отказов, необходимое для оценки вероятности возникновения пожара в целом для электроустановки.

С точки зрения пожарной безопасности электроустановок следует выделить **характерный аварийный пожароопасный режим электротехнического изделия**. Под данным термином следует понимать такой режим работы, при котором нарушается соответствие номинальных параметров и нормальных условий эксплуатации электроустановки или ее составных частей, приводящий к выходу ее из строя и создающий условия для возникновения пожара.

**Характерный аварийный пожароопасный режим электротехнического изделия** должен быть установлен в процессе проведения специальных испытаний, выполняемых до ввода электротехнического изделия в эксплуатацию. Такой режим определяется на основании перечня наиболее опасных в пожарном отношении режимов, возникающих в ходе эксплуатации электроустановки и имеющих наибольшую вероятность проявления.

В зависимости от вида и предназначения электроустановки при проведении испытания пожароопасные режимы создают следующими способами:

- 1) увеличением силы тока, протекающего в электроустановке, или ее части посредством повышения напряжения, перегрузки, короткого замыкания, неполнофазного режима, заклинивания ротора или якоря в электродвигателях и др.;
- 2) ухудшением теплоотвода от нагреваемых электрическим током или электрическим полем деталей и поверхностей электроустановок посредством выключения вентилятора (например, в калориферах), отключения насоса охлаждающей жидкости или охлаждающего вентилятора (в трансформаторах), принудительного снижения уровня

- охлаждающей жидкости, перекрытия поверхностей теплоизоляционными горючими материалами и т.д.;
- 3) повышением переходного сопротивления в коммутационных элементах или контактных соединениях;
  - 4) увеличением коэффициента трения во вращающихся (движущихся) элементах электроустановок посредством имитации отсутствия смазывающей жидкости;
  - 5) воздействием на элементы электроустановок электрических дуг посредством принудительного вынимания дугогасительных решеток, резким перенапряжением, созданием условий, способствующих образованию кругового огня и т.д.;
  - б) разбрызгиванием на горючие элементы раскаленных частиц металла, образовавшихся в результате короткого замыкания в электропроводке;
  - 7) расположением горючих материалов в зоне инфракрасного излучения, исходящего от работающей электроустановки;
  - 8) принудительным пропусканием тока по металлическим нетоковедущим частям электроустановки, нормально не находящимся под напряжением (например, по металлическим корпусам);
  - 9) созданием режима работы, не предусмотренного требованиями эксплуатации (инструкцией), но возможного при аварийном режиме, приводящего к нагреву электроустановки или ее частей, например за счет воздействия электромагнитного поля.

Вероятность возникновения пожара в электроустановках определяется следующим выражением [5]:

$$Q_{\Pi} = Q_{\Pi.P} \cdot Q_{\Pi.3} \cdot Q_{H.3} \cdot Q_B \leq 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $Q_{\Pi.P}$  – вероятность возникновения характерного аварийного пожароопасного режима электротехнического изделия (возникновение короткого замыкания, перегрузки и т.д.), год<sup>-1</sup>;

$Q_{П.з}$  – вероятность достижения характерных электротехнических параметров (напряжения, тока, переходного сопротивления) до пожароопасных значений, год<sup>-1</sup>;

$Q_{Н.з}$  – вероятность отказа в срабатывании аппарата защиты (автоматического выключателя, теплового реле и т.д.), год<sup>-1</sup>;

$Q_B$  – вероятность достижения горючим материалом температуры воспламенения, год<sup>-1</sup>.

При проведении специальных испытаний для определения пожароопасных режимов фиксируются такие события, как воспламенение, достижение температуры критического значения, появление дыма или запаха гари, отказ.

Вероятность возникновения характерного аварийного пожароопасного режима электротехнического изделия  $Q_{П.Р}$  определяют в ходе анализа статистических данных, полученных по результатам испытаний, проводимых на заводах-изготовителях и эксплуатирующих предприятиях. Также вероятность возникновения пожароопасного режима может быть определена с помощью справочных данных.

Вероятность отказа в срабатывании аппарата защиты  $Q_{Н.з}$  рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{Н.з} = 1 - e^{-\lambda_3 t} = 1 - P e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_p t} + P e^{-\lambda_p t}, \quad (2)$$

где  $P$  – вероятность увеличения тока срабатывания защиты (загрубление), определяемая обследованием или принимаемое по среднестатистическому значению;

$\lambda_3$  – эксплуатационная интенсивность отказов аппаратов защиты, ч<sup>-1</sup>;

$\lambda_3$  – интенсивность отказов загрубленной защиты, ч<sup>-1</sup>;

$\lambda_p$  – рабочая (аппаратная) интенсивность отказов защиты (определяется по теории надежности технических систем), ч<sup>-1</sup>;

$t$  – текущее время работы, ч.

Если аппараты защиты электроустановок находятся в эксплуатации продолжительное время (более 1,5–2 лет), то допускается использовать следующее выражение:

$$Q_{н.з} = \lambda_p t. \quad (3)$$

Характерный пожароопасный режим электроустановки фиксируется с помощью электротехнического параметра, при котором проявляются признаки начала горения. Так, например, наиболее ярким примером пожароопасного режима является короткое замыкание (далее – КЗ), характеризующееся таким важным параметром, как **ток короткого замыкания**, отличающийся большой величиной (многократное превышение) по сравнению с рабочим током.

Загорание электроустановки или ее элемента возможно лишь в определенном диапазоне токов короткого замыкания:

$$Q_{п.з} = \frac{N_{п}}{N_{э}}, \quad (4)$$

где  $N_{п}$  – диапазон пожароопасных значений характерного электротехнического параметра;

$N_{э}$  – диапазон возможных в эксплуатации значений характерного электротехнического параметра.

Если для оценки пожарной безопасности электроустановки используются другие электротехнические характеристик, например энергетические (мощность, температура, плотность теплового потока), то должна определяться вероятность того, как часто или как долго значение соответствующего энергетического параметра за определенный промежуток времени (например, в течение года) будет превышать его минимальное пожароопасное значение. Минимальное пожароопасное значение устанавливается экспериментально при определении вероятности достижения горючим материалом температуры воспламенения  $Q_B$ .

Вероятности достижения горючим материалом температуры воспламенения  $Q_B$  при положительном исходе опыта (воспламенения, достижение критической температуры, появление дыма) определяются в ходе лабораторных испытаний по формуле

$$Q_B = \frac{3 + 1,3m}{n + 2}, \quad (5)$$

где  $m$  – число опытов с положительным исходом;

$n$  – общее число опытов.

Если в качестве критерия, характеризующего пожарную опасность электроустановки, используется критическая температура, то  $Q_B$  определяется по формуле:

$$Q_B = 1 - \theta_i, \quad (5)$$

где  $\theta_i$  – безразмерный параметр, значение которого выбирается по табличным данным, в зависимости от безразмерного параметра  $\alpha$  в распределении Стьюдента:

$$\alpha = \frac{\sqrt{n}(T_K - T_{CP})}{\sigma}, \quad (6)$$

где  $T_K$  – критическая температура нагрева горючего материала, К;

$T_{CP}$  – среднее арифметическое значение температур при лабораторных испытаниях в наиболее нагретом месте электроустановки, К;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

В качестве критической температуры допускается принимать температуру, составляющую 80 % от температуры воспламенения изоляционного (конструкционного) материала.

### **1.3. Выбор и применение электрооборудования во взрыво- и пожароопасных зонах и помещениях с нормальной средой**

Многие предприятия добывающей, нефтегазовой, химической, пищевой и перерабатывающей отраслей характеризуются применением в своих технологических процессах разнообразных горючих веществ: жидких (нефть, продукты нефтепереработки, спирт, масло), газообразных (пропан, бутан, метан, водород), твердых (сера, фосфор, уголь, древесина), а также пылей (зерновой, металлической, угольной). Зачастую технологические процессы подобных производств протекают при высоких значениях давления и температуры, а порой и в окислительной среде. Все это обуславливает высокую опасность возникновения пожаров и взрывов.

При выборе конструктивного исполнения электроустановок, а также в условиях их монтажа и эксплуатации обязательно должны учитываться особенности протекания и опасность технологических процессов. Проектировщикам, а также лицам, осуществляющим надзор на предприятии, необходимо производить детальное обследование всех технологических процессов, помещений, в которых они расположены, и наружных установок. Целью данного обследования является категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, согласно [22], а также выявление пожароопасных и взрывоопасных зон. Причем, именно выявление пожаро- и взрывоопасных зон играет определяющую роль в выборе и размещении электроустановок.

В настоящий момент классификация пожаро- и взрывоопасных зон осуществляется на основании двух действующих нормативных документов: Правила устройства электроустановок [29] (далее – ПУЭ) и Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [32] (далее – ТР). Поэтому обозначение зоны, которое осуществляется на специальных табличках,



должно сопровождаться указанием нормативного документа, в соответствии с которым данная классификация была осуществлена.

Так, под **пожароопасной зоной** понимают часть внутри помещений или на открытой площадке, в пространстве которой обращаются горючие вещества или в которой горючие вещества могут образоваться при нарушении технологического процесса.

Классификация пожароопасных зон в соответствии с нормативными документами [29, 32] приведена в таблице 2. Наиболее опасными зонами принято считать зоны П-I и П-II.

Таблица 2 – Пожароопасные зоны

Класс пожароопасной зоны (обозначение)	Определение зоны согласно ПУЭ	Определение зоны согласно ТР
П-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки 61 и более градуса Цельсия
П-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м <sup>3</sup> к объему воздуха	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна
П-IIIa	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 МДж/м <sup>2</sup>
П-III	Зоны расположенные вне помещений (открытые площадки), в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества	Зоны, расположенные вне зданий, сооружений, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки 61 и более градуса Цельсия или любые твердые горючие вещества

Под **взрывоопасной зоной** следует понимать часть помещения или открытой площадки, в пространстве которой обращаются или могут быть образованы взрывоопасные смеси. Обозначение взрывоопасных зон, их соответствие и определение представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Взрывоопасные зоны

Обозначение взрывоопасной зоны согласно ТР	Обозначение взрывоопасной зоны согласно ПУЭ	Определение зоны согласно ПУЭ	Определение зоны согласно ТР
0	В-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей 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 легковоспламеняющихся жидкостей, находящихся в открытых емкостях	Зоны, в которых взрывоопасная смесь газов или паров жидкостей с воздухом присутствует постоянно или хотя бы в течение одного часа
1	В-I	То же	Зоны, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей, образующие с воздухом взрывоопасные смеси
	В-Iг	Пространства у наружных установок: технологические установки, содержащие горючие газы, или легковоспламеняющиеся жидкости, надземные и подземные резервуары с легковоспламеняющимися жидкостями или горючими газами (газгольдеры), эстакады для слива и налива ЛВЖ, открытые нефтеловушки, пруды-отстойники с плавающей нефтяной пленкой и т.п.	

Продолжение таблицы 3

2	В-Г	То же	Зоны, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси газов или паров жидкостей с воздухом, но возможно образование такой взрывоопасной смеси газов или паров жидкостей с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования
	В-Иа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров легко воспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуются, а их образование возможно лишь в результате аварий или неисправностей	
	В-Иб	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 особенностей, указанных в п. 7.3.42 ПУЭ	
20	В-П	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие в аэрозольное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные пылевоздушные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов)	Зоны, в которых взрывоопасные смеси горючей пыли с воздухом имеют нижний концентрационный предел распространения пламени менее $65 \text{ г/м}^3$ и присутствуют постоянно

## Окончание таблицы 3

21	В-II	То же	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 г/м <sup>3</sup>
22	В-IIа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для зоны В-II, не наступают при нормальной эксплуатации, а возможны лишь результате аварий или неисправностей	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом при концентрации 65 г/м <sup>3</sup> и менее, но возможно образование такой взрывоопасной смеси горючих пылей или волокон с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования

Обозначенная в табл. 3 классификация взрывоопасных зон не является единственной. Так, например, для того чтобы устранить противоречия в обозначении и классификации взрывоопасных зон для электроустановок напряжением до 1000 В, может применяться и другой нормативный документ – СП 423.1325800 «Электроустановки низковольтные зданий и сооружений. Правила проектирования во взрывоопасных зонах» [25]. Кроме того, следует помнить и о классификациях, принятых зарубежными странами (США, Европейский союз). Графическое обозначение взрывоопасных зон и их соответствие с другими стандартами представлено в приложении Д.

Выбор электрооборудования с учетом окружающей среды или условий эксплуатации обусловлен необходимостью исключить возникновение источника зажигания в электроустановке или контакт его с горючей или взрывоопасной средой.

Все электроустановки имеют свое конструктивное исполнение, особенности и степень защиты. Степень защиты электроустановок характеризует прежде всего возможность защиты корпуса от попадания во внутреннюю часть корпуса пыли и влаги. В соответствии с российскими и международными стандартами степень защиты обозначается аббревиатурой **IP** (от англ. *Ingress Protection Rating* – «степень защиты от проникновения») и последующим за аббревиатурой числовыми значениями: первая цифра указывает на степень защиты от попадания в корпус твердых частиц и пыли, вторая цифра – степень защиты от попадания воды или влаги [11].

Расшифровка обозначения степени защиты представлена на рис. 14.

Электроустановки, эксплуатируемые в *нормальных условиях* (сухие помещения, без пожаровзрывоопасных сред) должны иметь степень защиты не ниже **IP20**. Электрические машины и аппараты, располагаемые в *пожароопасных зонах* должны иметь степень защиты не менее **IP44** – для зон П-I, П-IIa, П-III и не менее чем **IP54** – для зоны П-II (если в процессе работы возможно образование искрения). Электрические светильники: **IP53** – для зон П-I, П-II и не менее чем **IP23** – для зоны П-II и П-III [29].

Что касается проводов и кабелей, то их прокладка через пожароопасную зону возможна при условии наличия в них оболочки или изоляции, не распространяющей горение. В пожароопасных зонах прокладка неизолированных проводов строго запрещена. То же самое касается и шинопроводов, однако если шины расположены в защитном коробе с **IP54**, то такие шины допускается не изолировать.

IP	2	3	С	Н
<p>Буквы кода</p> <p>1-я характеристическая цифра:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0 – нет защиты</li> <li>1 – диаметром <math>\geq 50</math> мм</li> <li>2 – диаметром <math>\geq 12,5</math> мм</li> <li>3 – диаметром <math>\geq 2,5</math> мм</li> <li>4 – диаметром <math>\geq 1</math> мм</li> <li>5 – пылезащищенное</li> <li>6 – пыленепроницаемое</li> </ul> <p>2-я характеристическая цифра:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0 – нет защиты</li> <li>1 – вертикальное каплепадение (угол <math>15^\circ</math>)</li> <li>2 – каплепадение</li> <li>3 – дождевание</li> <li>4 – сплошное обрызгивание</li> <li>5 – действие струи</li> <li>6 – сильное действие струи</li> <li>7 – временное непродолжительное погружение</li> <li>8 – длительное погружение</li> <li>9 – горячая струя воды под высоким давлением</li> </ul>	от проникновения внешних твердых предметов	от вредного воздействия в результате проникновения воды	от доступа к опасным частям	<p>вспомогательная информация, относящаяся к</p> <p>Вспомогательная буква:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Н – высоковольтным аппаратам</li> <li>М – состоянию движения во время испытаний защиты от воды</li> <li>С – состоянию неподвижности во время испытаний защиты от воды</li> </ul> <p>Дополнительная буква:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>А – тыльной стороной руки</li> <li>В – пальцем</li> <li>С – инструментом</li> <li>Д – проволокой</li> </ul>

Рисунок 14 – Маркировка электрооборудования по степени защиты (пример)

Эксплуатация и размещение электрооборудования во взрывоопасных зонах по возможности должны быть исключены. Однако, следует отметить, что полный отказ от использования электроустановок во взрывоопасных зонах попросту невозможен, т.к. этого требуют многие технологические процессы, например, сливно-наливные эстакады с нефтепродуктами или оборудование мельниц на мукомольных заводах. Электроустановки, располагаемые во взрывоопасных зонах, должны иметь специальное **взрывозащищённое** исполнение. Под взрывозащищённой электроустановкой следует понимать электроустановку, в которую заложены конструктивные меры, направленные на исключение (или снижение

вероятности) воспламенения окружающей взрывоопасной среды. Характерным признаком того, что электроустановка соответствует стандартам взрывозащищенности, является наличие специальной маркировки – **Ex** (рис. 15), наносимой как на корпус, так и в паспорт технического изделия [15].



Рисунок 15 – Внешний вид маркировки взрывозащищенного электрооборудования

Пример полного обозначения маркировки взрывозащищенного электрооборудования представлен на рис. 16.

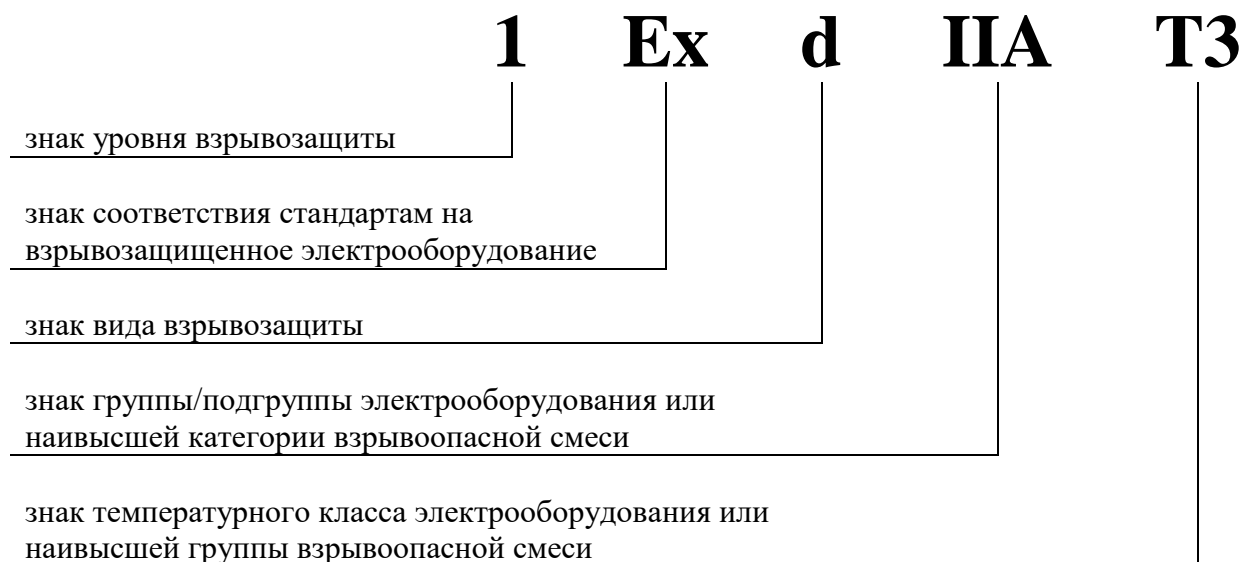


Рисунок 16 – Полная маркировка взрывозащищенного электрооборудования (пример)

Первая позиция в маркировке указывает на уровень взрывозащиты электрооборудования, т.е. степень надежности защиты от взрыва. При этом существуют три *уровня* надежности:

- уровень **2** – **электрооборудование повышенной надежности против взрыва**, при таком уровне электрооборудование обеспечивает взрывозащиту только при нормальном режиме работы, т.е. электрооборудование допускается эксплуатировать только в зонах, где образование взрывоопасных смесей маловероятно, а в случае возникновения – быстротечно или непродолжительно (по времени);
- уровень **1** – **взрывобезопасное электрооборудование**, при таком уровне электрооборудование обеспечивает взрывозащиту как при нормальном режиме работы, так и в условиях вероятных повреждений самого электрооборудования, но при условии, что не повреждены заложенные в конструкцию средства, обеспечивающие взрывозащищенность;
- уровень **0** – **особо взрывобезопасное электрооборудование**, при таком уровне электрооборудование оснащено дополнительными, специальными средствами защиты от взрыва. Данное электрооборудование допускается эксплуатировать в зонах с постоянным присутствием взрывоопасных смесей.

Следующая позиция в маркировке – непосредственно *знак*, указывающий на то, что электроустановка соответствует стандартам взрывозащиты – Ex.

Третья позиция в обозначении указывает на *вид* или принцип исполнения взрывозащиты электрооборудования. Вид взрывозащиты электрооборудования можно разделить на 2 группы:

- первая группа допускает возможность взрыва внутри электрооборудования, но при этом исключается его распространение в окружающую среду, т.е. за пределы корпуса. Электроустановки со взрывозащитой первой группы, как правило, имеют взрывонепроницаемую оболочку или корпус, а все места сочленения или сопряжения отдельных деталей и узлов имеют узкие и длинные





зазоры (щели) для исключения проникновения пламени и продуктов взрыва сквозь них;

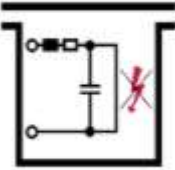




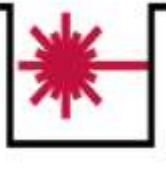

- вторая группа предполагает, что конструкция электроустановки снижает вероятность или полностью исключает загорание изоляции, воспламенение окружающей среды, опасный перегрев токоведущих частей или искрение. Электроустановки с такой группой защиты предполагают наличие в них специальной изоляции, выполненной, например, из жидкого негорючего диэлектрика (масла), сыпучего диэлектрика (кварцевого песка) или газового диэлектрика (инертного газа). Также электроустановки второй группы могут отличаться слаботочностью или малым напряжением, неспособными воспламенить окружающую среду.

Маркировка видов взрывозащиты электрооборудования представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Виды и принципы взрывозащиты

Вид взрывозащиты	Описание	Знак вида взрывозащиты	Дополнительное графическое изображение на корпусе или в паспорте технического изделия	Основная область применения электрооборудования с данным видом взрывозащиты
Масляное заполнение оболочки	Токоведущие части электроустановки находятся в оболочке, заполненной минеральным маслом или негорючей жидкостью	o		Маслонаполненное электрооборудование: масляные трансформаторы, маслянные выключатели, маслянные нагреватели
Кварцевое заполнение оболочки	Токоведущие части электроустановки находятся в оболочке, заполненной сухим кварцевым песком	q		Электрооборудование, не имеющее подвижных устройств: трансформаторы, электронагреватели, дроссельные катушки, электронные блоки
Заполнение или продувка оболочки избыточным давлением	Токоведущие части электроустановки находятся в оболочке, пространство которой заполнено или продувается инертным газом (азотом или воздухом)	pv px py pz		Распределительные устройства, электродвигатели, электрические светильники

## Окончание таблицы 4

Искро-безопасная электрическая цепь	Токоведущие части электроустановки находятся с малым сверхнизким напряжением	ia ib ic		Электрооборудование слаботочных цепей: устройства сигнализации, контроля, измерения. Переносные электрические светильники
Взрыво-непроницаемая оболочка	Электроустановка с оболочкой, способной выдерживать давление взрыва	d (da, db, dc)		Электродвигатели, светильники распределительные устройства
Герметизация частей электро-оборудования компаундом или защита вида «m»	Электроустановка все, части которой могут вызвать искрение или недопустимый нагрев, размещены в компаунде	ma mb mc		Защитно-коммутационные аппараты: предохранители, реле и т.д. Элементы электротехнических устройств: конденсаторы, резисторы, катушки индуктивности
Исключение дуговых и искровых разрядов, повышенной температуры или защита вида «e»	Электроустановки снабжены дополнительной защитой от искрения, дуг или перегрева	e		Соединительные и клеммные коробки, распределительные устройства, светильники, электродвигатели
Исключение зажигательной способности или защита вида «n»	Электроустановки снабжены дополнительной и усиленной защитой от искрения, дуг или перегрева	n		Соединительные и клеммные коробки, пускорегулирующие аппараты, стартеры, электродвигатели
Защита оборудования являющегося источником оптического излучения или защита вида «op»	Электроустановки снабжены защитой от испускаемого оптического излучения (например лазерного)	op is op pr op sh		Осветительное и оптическое оборудование: светодиоды, лампы, лазеры, геодезическая техника, оборудование оптического волокна связи
Специальная защита	Электроустановки оснащены отличными от других, но при этом достаточными видами взрывозащиты: оболочка со степенью защиты IP 67, изоляция герметиком, оболочка наполненная флегматизатором.	s		Все виды электроустановок в т.ч. электроустановки связи и автоматизации

Следующая позиция в обозначении взрывозащищенного электрооборудования указывает на *категорию* смеси или *группы/подгруппы* электрооборудования [15, 16, 29]. В соответствии с действующими стандартами следует различать три категории смесей:

- **категория I** предполагает использование электрооборудования в условиях образования рудничного газа (метана). Такое электрооборудование применяют, например, в шахтах или горных выработках;
- **категория II** предполагает использование электрооборудования в условиях образования промышленных взрывоопасных смесей газов. При этом существует деление данной категории на подкатегории IIА, IIВ, IIС, что соответствует таким газам, как пропан, этилен и водород. Причем каждая последующая подкатегория может заменить предыдущую;
- **категория III** предполагает использование электрооборудования в условиях образования взрывоопасных пылей, например алюминиевой, серной, мучной. Следует отметить, что категория III регламентируется пока только стандартами Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Последняя позиция в обозначении маркировки взрывозащиты электрооборудования определяет *температурный класс* электрооборудования или *группу смеси*, т.е. следует учитывать температуру нагрева корпуса взрывозащищенного электрооборудования и температуру самовоспламенения взрывоопасной смеси, в среде которой данное электрооборудование эксплуатируется [15, 16, 29]. Соответствие температурного класса и температуры самовоспламенения взрывоопасной среды представлено в таблице 5.

**Таблица 5 – Группы взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом по температуре самовоспламенения**

Знак температурного класса электрооборудования	Максимальная температура нагрева корпуса электрооборудования, °С	Температура самовоспламенения взрывоопасной среды, °С	Наименование взрывоопасной смеси (пример)	Температурный класс взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
T1	До 450	Свыше 450	Метан, этан, коксовый газ, водород, аммиак	T1
T2	До 300	Свыше 300	Ацетилен, бутан, высокооктановые бензины, спирт	T1, T2
T3	До 200	Свыше 200	Пентан, скипидар керосин, нефть	T1-T3
T4	До 135	Свыше 135	Ацетальдегид, диэтиловый эфир, декан	T1-T4
T5	До 100	Свыше 100	Сероуглерод	T1-T5
T6	До 85	Свыше 85	Силан, белый фосфор	T1-T6

Таким образом, при разработке электротехнической части проектов и выборе электрооборудования во взрывоопасных или пожароопасных зонах следует внимательно учитывать условия эксплуатации и конструктивное исполнение электроустановок.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что называется электроустановками?
2. Укажите классификацию электроустановок.
3. Приведите примеры различных электроустановок.
4. Назовите признаки различия электроустановок.
5. Проанализируйте статистику пожаров за последние годы и сделайте выводы о причинах пожаров и их распределении по различным объектам, отраслям, видам электроустановок.
6. Укажите основные причины пожаров, возникающих в электроустановках.

7. Какое явление, возникающее в электроустановках, чаще всего приводит к пожарам и загораниям? Дайте определение данному явлению.
8. Какие атмосферные явления могут спровоцировать пожары и почему?
9. Почему не прямые удары грозных молний могут быть причинами пожаров?
10. Дайте определение следующим понятиям: «пожароопасная зона» и «взрывоопасная зона». Какие нормативные документы представляют требования к классификации зон? Какова цель данной классификации?
11. Расшифруйте маркировку следующего электрооборудования: 2ExdiIIBT5; 1ExsidIIBT4; 2ExeIIT6; 0ExsiICT4; 2ExedIIBT3; 2ExdiIIBT5; 1ExsIIT6. Используя нормативную документацию, постарайтесь обозначить возможную область эксплуатации данного электрооборудования.

## 2. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

### 2.1. Классификация электрических сетей

Согласно правилам устройства электроустановок под **электрическими сетями** понимают совокупность различных электроустановок, предназначенных для передачи перераспределения электрической энергии, включающую в себя трансформаторные подстанции, распределительные устройства, шинопроводы, кабельные и воздушные линии передач, работающие на определенной территории. Таким образом, главным предназначением электрических сетей является транспортировка электроэнергии до конечных потребителей.

Классификация электрических сетей производится по следующим признакам [38, 44]:

1. По **роду тока** различают сети переменного и постоянного тока. В России почти повсеместно используют сети трехфазного и однофазного тока. Сети постоянного тока встречаются крайне редко, в основном при импорте электроэнергии в другие страны.

2. По **номинальному напряжению**:

- сети низкого напряжения (до 1000 В);
- сети среднего напряжения (от 3 до 35 кВ);
- сети высокого напряжения (от 110 до 220 кВ);
- сети сверхвысокого напряжения (от 330 до 750 кВ);
- сети ультравысокого напряжения (1150 кВ).

3. По **конфигурации**:

- разомкнутые (имеют один источник электроснабжения и электроэнергию к потребителю передают только в одном направлении);
- разомкнутые резервированные (имеют несколько источников электроснабжения, при отключении одного из них подача

электроэнергии к потребителям осуществляется через резервный источник);

- замкнутые (обеспечивают электроснабжение потребителей как минимум с двух сторон).

#### 4. По функциональному назначению:

- системообразующие сети (образуют единую энергосистему страны и обеспечивают транспортировку электроэнергии между её субъектами, 330–1150 кВ);
- питающие сети (предназначены для передачи электроэнергии от трансформаторных подстанций системообразующих сетей к районным подстанциям, 110–220 кВ);
- распределительные сети (предназначены для передачи электроэнергии от районных трансформаторных подстанций к городским, сельским и промышленным потребителям, могут иметь низкое и среднее напряжение);
- групповые сети (предназначены для передачи электроэнергии от вводного распределительного устройства к электроустановкам, как правило, имеют напряжение 0,4 кВ). Групповые сети, в свою очередь, следует классифицировать на:
  - 1) *силовые* (предназначены для электроснабжения конечных стационарных и нестационарных электроприемников, например – электродвигателей);
  - 2) *осветительные*;
  - 3) *совмещенные*.

#### 5. По конструктивному исполнению:

- воздушные линии;
- кабельные линии;
- токопроводы и шинопроводы;
- проводки.

б. По месту расположения:

- внутренние;
- наружные.

Ко всем электрическим сетям предъявляется ряд очень важных требований:

- высокая надежность и бесперебойность работы;
- пожарная безопасность;
- высокое качество электроэнергии;
- возможность обслуживания и ремонта;
- возможность дальнейшего развития и подключения новых потребителей.

С точки зрения обеспечения надежности и бесперебойности электроснабжения все потребители электрической энергии делятся на три категории [29]:

**I-я категория** – потребители, у которых перерыв в электроснабжении может иметь следующие последствия: угроза жизни и здоровью людей, значительный материальный ущерб для производства, необратимые изменения в технологическом процессе, повреждение технологического оборудования, нарушение работы объектов коммунального хозяйства. Электроснабжение потребителей I категории требует наличия двух независимых и взаимно резервирующих источника питания, причем переключение с одного источника на резервный должно осуществляться автоматически посредством системы АВР (автоматическое включение резерва). Из числа потребителей I категории следует выделять категорию **особую**. У потребителей **особой категории** перерыв в электроснабжении может повлечь за собой пожары, взрывы, смертельную угрозу для жизни людей, повреждение дорогостоящего оборудования. Для потребителей **особой категории** необходимо наличие третьего резервного источника питания, например, дизельной электростанции или аккумуляторных батарей;



**II категория** – потребители, у которых перерыв в электроснабжении вызывает простой технологического процесса и производства, недоотпуск продукции, нарушение работы транспортных машин и механизмов, нарушение нормальной жизнедеятельности большого количества людей. Потребители II категории требуют также наличия двух независимых взаимно резервирующих источников питания, однако переключение с одного источника на резервный может быть осуществлено в ручном режиме оперативно-выездной бригадой или обслуживающим персоналом;

**III категория** – потребители, которые не были отнесены ни к I категории, ни ко II категории. Для потребителей III категории допускается наличие одного источника питания, но при условии, что перерыв в электроснабжении займет не более 24 часов.

Важнейшим элементом любой электрической сети являются устройства, предназначенные для передачи электроэнергии, которые могут быть представлены:

- 1) **воздушными линиями передач** – линиями, расположенными на открытой местности, состоящими из проводов, прикрепленных с помощью изоляторов, и арматуры к опорам или кронштейнам инженерных сооружений;
- 2) **кабельными линиями передач** – линиями, предназначенными для передачи электроэнергии, состоящими из одного или нескольких параллельно проложенных электрических **кабелей**, снабжённых соединительной и крепежной арматурой. При этом под электрическим **кабелем** следует понимать электротехническое изделие, содержащее изолированные жилы (одна или несколько), расположенные в защитной оболочке (рис. 17).

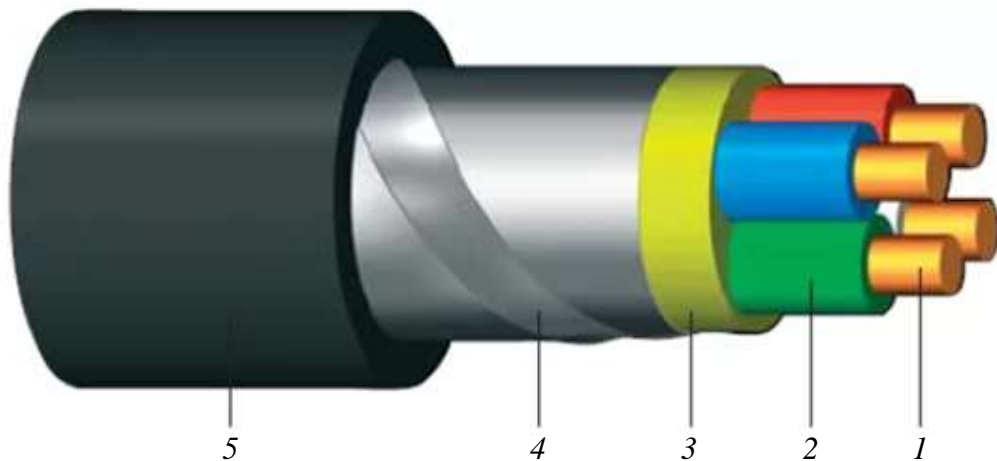


Рисунок 17 – Устройство электрического кабеля:  
 1 – токоведущие жилы; 2 – изоляция отдельных токоведущих жил;  
 3 – общая (поясная) изоляция; 4 – защитная оболочка или броня  
 (металлическая или неметаллическая); 5 – защитный покров

Совокупность проводов и кабелей в сочетании со всеми креплениями, защитными и поддерживающими конструкциями принято называть **электропроводкой**.

Передача электроэнергии посредством кабельных линий пользуется большой популярностью, особенно на промышленных предприятиях и в городах, что обусловлено их хорошей надежностью, защищенностью, меньшими размерами, отсутствием грозовых помех.

Кабельные линии при этом классифицируются по различным признакам. Так, прежде всего, все электрические кабели следует различать по *предназначению*:

- **силовые электрические кабели** – предназначены для передачи электроэнергии, электроснабжения городов и предприятий, питания осветительных и силовых (например, трансформаторов) электроустановок;
- **контрольные электрические кабели** – предназначены для дистанционного измерения и контроля различных параметров;
- **кабели управления** – предназначены для обеспечения работы систем управления и автоматики, в том числе пожарной.

- **сигнально-блокировочные кабели** – предназначены для обеспечения работы систем сигнализации (пожарной, охранной, аварийной и т.д.).

Электрические кабели имеют весьма обширную классификацию в зависимости от материала изоляции и материала токоведущих жил [7, 8, 14]. Изоляция электрических кабелей может быть выполнена из диэлектрической резины, поливинилхлорида, пластмассы, а также пропитанной кабельной бумаги. Прочность электрической изоляции играет важнейшую роль в обеспечении пожарной и энергетической безопасности кабеля. Снижение электрического сопротивления кабеля неизбежно вызывает повышение токов утечки, локальный нагрев и, как следствие, дальнейшую деструкцию полимерной изоляции с последующим пробоем, сопровождаемым образованием электрической дуги или искр. Особую пожарную опасность представляют высоковольтные электрические кабели (напряжением выше 1000 В).

Токоведущие жилы кабеля могут быть выполнены из алюминия или меди. Электрические кабели, имеющие сечение жил более 16 мм<sup>2</sup> и предназначенные для питания стационарных (неподвижных) потребителей, как правило, имеют алюминиевые жилы. Кабельные линии, обеспечивающие электроснабжение систем освещения, передвижных электроприемников, электроустановок жилых и административных зданий выполняют исключительно медными жилами. Медные жилы имеют лучшую электрическую проводимость, стойкость к окислению и разрушению, что обеспечивает повышенную пожарную безопасность кабеля.

Материалы изоляции и жил кабеля могут быть определены по маркировке (рис. 18).

А – алюминий  
нет буквы – медь

В – поливинилхлорид (ПВХ)  
П – полиэтилен  
Р – резина  
Н (НР) – найрит (негорючая резина)  
Ф – фторопласт  
нет символа – бумага  
и др.

А – алюминий  
С – свинец  
В – поливинилхлорид (ПВХ)  
П – полиэтилен  
Р – резина  
Н (НР) – найрит (негорючая резина)  
О – отдельные оболочки поверх каждой фазы  
и др.

А – асфальтированный джут  
Б – стальные ленты  
П – плоская стальная проволока оцинкованная  
К – круглая стальная проволока оцинкованная  
Д – стальная оплетка из 2 проводов  
и др.

Г – отсутствует  
Шв – шланг ПВХ  
Шп – шланг полиэтиленовый  
Н – негорючий  
Э – экранированный алюминиевой фольгой  
и др.

жила

изоляция

защитная оболочка

броня

наружный  
покрыв

**А Н Р Б Г - 3 × 16 + 1 × 10 (ож)**

тип исполнения жил

сечение «нулевой» жилы

количество «нулевых» жил

сечение рабочей жилы

количество рабочих жил

Рисунок 18 – Маркировка кабеля (пример)

Расшифровывать маркировку электрического кабеля (рис. 18) можно следующим образом:

- на первой позиции в марке кабеля или провода, как правило, указывается **материал жил**: если указана буква **А** – жилы алюминиевые, медные жилы при этом не обозначаются. Иногда в виде исключения на первом месте можно увидеть в маркировке кабеля букву **Ц**, что означает кабель с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом на основе **церезина**, причем если после буквы **Ц** пишется буква **А**, то это кабель с алюминиевыми жилами. Буквосочетание **АА** свидетельствует об алюминиевых жилах в алюминиевой оболочке, **АС** – то же, но уже в свинцовой оболочке;
- на второй позиции обозначают **материал изоляции** кабеля: **П** – полиэтилен, **Пс** – самозатухающийся полиэтилен, **В** – поливинилхлорид, **Пв** – вулканизированный поливинилхлорид, **Ф** – фторопласт, **Р** – резина, **НР** – резина негорючая, **А** – асбест, **С** – изоляция стеклянная, **Ц** – изоляция пленочная и др. Бумажная изоляция кабеля, пропитанная специальными составами, буквенного обозначения не имеет;
- третья позиция указывает на **материал герметичной оболочки** кабеля: **С** – свинцовая, **А** – алюминиевая, **В** – поливинилхлоридная, **П** – полиэтиленовая, **Ст** – стальная (гофрированная) и др.;
- четвертая позиция в марке кабеля обозначает **материал защитного покрова или брони** кабеля: **Б** – броня стальная, **К** – броня, состоящая из круглых стальных, оцинкованных проволок, **П** – броня, состоящая из плоских стальных оцинкованных проволок и др.;
- на пятой позиции иногда указывается **конструкция защитной подушки** кабеля. Так, например, буква **Л** указывает на наличие однослойной поливинилхлоридной (или лавсановой) ленты, **2Л** – двухслойной ленты, **В** – вулканизированный полиэтилен. В нормальном (обычном) исполнении защитная подушка кабеля состоит

из многослойного битумного состава, такая конструкция буквенного обозначения не имеет;

- на последней, шестой, позиции в марке кабеля обозначают **конструкцию наружного защитного покрова** кабеля: буквы **Шв** – поливинилхлоридный шланг, **Шп** – полиэтиленовый шланг, причем наружный покров включает в себя несколько слоев битумного состава, поливинилхлоридной ленты и соответствующих шлангов. Наличие строчных букв **нг** свидетельствует о негорючем составе, состоящем из стеклянной пряжи и специального негорючего покрытия. Наличие буквы **Г** свидетельствует об отсутствии какого-либо защитного покрова в конструкции кабеля, такие кабели называют «голыми». При этом на последней позиции в маркировке проводов и кабелей может указана дополнительная эксплуатационная характеристика: **FR** – кабель огнестойкий, **LS** – кабель с пониженным дымо- и газовыделением при пожаре, **HF** – кабель безгалогенный (не содержащий в составе изоляции: хлор, бром, фтор) **LTx** – кабель с пониженным уровнем токсичности продуктов горения.

Важную информацию о проводах и кабелях несут обязательные цифровые обозначения (рис. 18):

- первая цифра свидетельствует о **количестве жил** кабеля. При этом силовые кабели могут иметь от 1 до 5 жил, большее количество жил встречается только у контрольных или сигнальных кабелей;
- вторая цифра точно обозначает **сечение** одной жилы кабеля или провода, обозначение приводится в квадратных миллиметрах (мм<sup>2</sup>). Причем сечение жил кабеля всегда указывают после символа умножения – «х», например: 3х2,5, 5х70;
- иногда встречается группа цифр, разделенных символом умножения, следующая сразу за знаком "+", информирующая о наличии **нулевой** жилы, отличной от сечения токопроводящих жил. Например, 2х70+1х35. Если подобное обозначение отсутствует, то сечение

нулевой жилы соответствует сечению фазных жил либо нулевая жила отсутствует;

- на третьей позиции в цифровом обозначении часто указывают номинальное **напряжение** кабеля в киловольтах (кВ), если цифра отсутствует, то кабель рассчитан на напряжение до 660 В;
- после цифрового обозначения иногда указывают тип исполнения жил провода или кабеля: **ОЖ** – кабель одножильный, т.е. кабель состоит из одной токоведущей жилы. **МН** или **МЖ** – кабель с многожильной конструкцией, т.е. каждая жила кабеля состоит из множества перекрученных между собой проволок. **ОК** – кабель с однопроволочными жилами круглого сечения, **МК** – кабель с круглыми многопроволочными жилами. Наличие латинских букв **N** и **PE** свидетельствует о присутствии в оболочке кабеля нулевой жилы или жилы заземления соответственно.

Провода и кабели, выпускаемые по международным стандартам, часто имеют иностранные маркировки. Так, например, наличие на первой позиции в маркировке кабеля буквы **N** свидетельствует о соответствии кабеля европейскому стандарту VPE (для медных кабелей – **Li**). При обозначении типа изоляции: **Y** или **V** – изоляция из поливинилхлорида, **Y(ST)** – изоляция и оболочка из поливинилхлоридного пластика, **YN** – изоляция из поливинилхлорида без содержания в ней галогенов, **RG** – кабель бронированный.

## **2.2. Обеспечение пожарной безопасности электрических сетей. Выбор проводов и кабелей**

Выбор марки электрических проводов или кабелей играет важнейшую роль в обеспечении пожарной безопасности зданий, сооружений и технологических установок. При разработке проектной документации или при проведении пожарно-технической экспертизы электротехнической части

проекта большое внимание необходимо уделить правильности выбранного сечения жил кабеля или провода [23, 29]. В зависимости от сечения жил, а также от их материала устанавливается значение **допустимого тока**. Под допустимым током следует понимать максимальное значение электрического тока, при протекании которого в продолжительном режиме не возникает превышения температуры определенного значения. Так, например, для проводов и кабелей, имеющих поливинилхлоридную или резиновую изоляцию, длительно допустимая температура составляет всего 65 °С. Длительное превышение указанного значения вызывает ускоренное старение электрической изоляции, заключающееся в быстрой потере диэлектрической прочности и, как следствие, ее электрической пробой. При этом следует отметить, что провода и кабели способны выдерживать кратковременную перегрузку, так как температура проводников достигает своего установившегося значения не мгновенно, а по истечении некоторого времени после включения.

Изменение температуры нагрева проводников можно описать следующим выражением:

$$\tau = \tau_{уст} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (7)$$

где  $\tau$  – температура проводника в данный момент времени;

$\tau_{уст}$  – установившийся перегрев для данной токовой нагрузки;

$t$  – время протекания тока через проводник;

$T$  – постоянная времени нагрева, показывающая время достижения температуры перегрева при отсутствии теплоотдачи в окружающую среду;

$e$  – основание натурального логарифма.

Отключение проводника от сети или отключение нагрузки неизбежно вызывает охлаждение его до температуры окружающего воздуха. Данный процесс может быть описан следующим выражением:

$$\tau = \tau_{уст} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (8)$$



Таким образом, допустимая токовая перегрузка проводников неразрывно связана с их сечением и определяется выражением:

$$I_{\partial} = aS^m - bS^n, \quad (9)$$

где  $I_{\partial}$  – допустимая токовая нагрузка, в амперах;

$S$  – номинальная площадь поперечного сечения проводника, в мм<sup>2</sup>;

$a$  и  $b$  – коэффициенты;

$m$  и  $n$  – степенные показатели для данного проводника и способа монтажа (определяются ГОСТ Р 50571.5.52 [6]).

Допустимая токовая нагрузка для проводов и кабелей в зависимости от их сечения и материала жил представлена в приложении Е. Требуемое сечение жил проводов и кабелей чаще всего определяют путем расчета рабочего тока электроустановки (либо группы электроустановок), подключенной к данной сети. При этом должно выполняться следующее условие:

$$I_{\partial} \geq I_p, \quad (10)$$

где  $I_p$  – рабочий ток электроустановки.

При размещении электрооборудования во взрывоопасных зонах крайне важно обеспечить дополнительное условие безопасности (запас по току). Дополнительное условие безопасности тогда будет выглядеть следующим образом:

$$I_p \geq 1,25I_n, \quad (11)$$

где  $I_n$  – номинальный ток электроустановки.

Под **номинальным** током электроустановки понимают наибольший допустимый ток, при котором электроустановка может работать безгранично долгое время, не нагревая при этом свою изоляцию и токоведущие части до недопустимых температурных значений. Под **рабочим** током понимают реальный (измеренный) ток в электроустановке, при этом рабочий ток всегда меньше либо равен номинальному.

Для определения номинального тока электроустановок следует использовать следующие формулы:

- для трехфазных электроустановок:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \eta \cos \varphi}, \quad (12)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность электроустановки, Вт;

$U_n$  – линейное напряжение, В;

$\eta$  – коэффициент полезного действия электродвигателя;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности электродвигателя;

- для однофазных электроустановок:

$$I_n = \frac{P_n}{U_\phi \eta \cos \varphi}, \quad (13)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение, В.

Если на одну питающую сеть подключается группа однотипных электроустановок (часто встречается при подключении светильников или прожекторов), то при определении номинальной мощности необходимо суммировать мощность каждой электроустановки в данной группе.

Большая протяженность проводов и кабельных линий будет способствовать увеличению падения напряжения (через активные потери в жилах), что впоследствии может вызвать нарушение работы электроустановок и дополнительный нагрев в токоведущих жилах. Фактическое падение напряжения может быть определено по формуле:

$$\Delta U_\phi = \frac{\Sigma P_n l}{CS}, \quad (14)$$

где  $l$  – длина участка линии провода или кабеля, м;

$S$  – сечение жилы провода или кабеля, м<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент, учитывающий материал проводника и напряжение в линии (в трехфазных сетях напряжением 380 В для медных и алюминиевых жил

принимать, соответственно, 72,4 и 44, в однофазных напряжением 220 В – соответственно 12,1 и 7,4).

Полученное значение фактического падения напряжения необходимо сравнить с допустимым:

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{д}}. \quad (15)$$

Согласно ГОСТ 32144-2013 [10] положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения. Для отдельных потребителей устанавливаются специальные требования к допустимым отклонениям напряжения. Из обычных потребителей наиболее жесткие требования к допустимому отклонению напряжения предъявляют осветительные установки – 3 %.

В том случае, если падение напряжения превышает допустимое значение, необходимо увеличивать сечение жил провода или кабеля до выполнения обозначенных выше условий.

При выборе сечения провода или кабеля необходимо учесть не только ток, протекающий через них, но и температуру окружающего воздуха. В помещениях с повышенной температурой существенно ухудшается теплоотдача от провода или кабеля в окружающую среду, что неизбежно вызывает нагрев изоляции. Нарушение теплоотвода может потребовать изменение способа прокладки проводов и кабелей. Так, например, групповая прокладка кабелей в одной трубе или кабель-канале будет только способствовать аккумуляции тепла даже при нормальных токовых нагрузках. Одиночная прокладка кабелей, особенно в среде с большой теплоемкостью (бетон, кирпич, земля), напротив, обеспечивает его лучшее охлаждение. Рекомендуемые и допустимые способы прокладки проводов и кабелей представлены в таблице 6.

Важное значение при выборе кабеля имеет его исполнение, обозначенное в маркировке на последней позиции. Область применения

проводов и кабелей в зависимости от типа исполнения приведена в таблице 7.

Таблица 6 – Способы прокладки проводов и кабелей

Провода и кабели		Способ монтажа							
		без фиксации	с непосредственным креплением	в трубах	в кабельных коробах (включая короба-плинтусы и короба в полу)	специальные кабельные короба	на лотках, лестничных лотках, кронштейнах	на изоляторах	на тросе
Голые провода		-	-	-	-	-	-	+	-
Изолированные провода		-	-	+	+	+	-	+	-
Кабели в оболочке (включая бронированные и в минеральной изоляции)	многожильные	+	+	+	+	+	+	0	+
	одножильные	0	+	+	+	+	+	0	+

Примечание: «+» – рекомендуется, «-» – не рекомендуется, «0» – допускается.

Таблица 7 – Область использования проводов и кабелей

Тип исполнения провода или кабеля	Допустимая область применения
Без специального исполнения (обозначение отсутствует)	В производственных помещениях при условии одиночной прокладки. Для наружных электроустановок допускается групповая прокладка, но при условии отсутствия постоянно обслуживающего персонала и при использовании пассивной огнезащиты (покрытие огнезащитными штукатурками, плитами, экранами и т.д.)
нг FR	В наружных электроустановках при прокладке в открытых кабельных сооружениях (галереях, эстакадах)
нг LS	Допускается в закрытых (внутренних) электроустановках, а также в закрытых кабельных сооружениях
нг HF	Допускается в закрытых электроустановках, размещённых в зданиях с массовым (более 50 чел.) пребыванием людей, включая высотные здания многофункционального назначения
нг FRLS нг FRHF	Возможно использование в системах противопожарной защиты и в системах, обеспечивающих бесперебойное питание (при пожаре) потребителей
нг LSLTx нг FRHFLTx	Возможно использование в системах противопожарной защиты и в системах, обеспечивающих бесперебойное питание (при пожаре) потребителей, отнесенных к категории социально- значимых объектах (детские сады, школы, больницы, интернаты и т.д.)

### 2.3. Аппараты защиты электроустановок

Для защиты электрических сетей и других электроустановок потребителей от аварийных, пожароопасных режимов работы (коротких замыканий, перегрузок) необходимо использовать аппараты защиты. Любая эксплуатация электроустановок без применения аппаратов защиты строго запрещается. Но при этом следует упомянуть о наличии обширной классификации аппаратов защиты электроустановок. Так, аппараты защиты классифицируются на:

- аппараты защиты, реагирующие на ток короткого замыкания;
- аппараты защиты, реагирующие на ток замыкания (на землю);
- аппараты защиты, реагирующие на ток перегрузки;
- аппараты защиты, реагирующие на дифференциальный ток утечки;
- аппараты защиты, реагирующие на перенапряжение;
- аппараты защиты, реагирующие на искровой или дуговой пробой;
- аппараты защиты, реагирующие на аномальные режимы работы (например, неполнофазный режим).

Обширная классификация аппаратов защиты позволяет обеспечить пожарную безопасность электроустановок при условии их совместного применения, правильного выбора и монтажа. Некоторые аппараты защиты сочетают в себе комбинацию защитных свойств, что удобнее для их эксплуатации и подбора.

Пожарную безопасность электрических сетей и электроустановок прежде всего обеспечивают плавкие предохранители, автоматические выключатели и устройства защитного отключения. Данные аппараты реагируют на сверхтоки, возникающие в аварийных или предаварийных режимах электрооборудования.

При этом к аппаратам защиты предъявляются следующие важные требования:

1. **Быстродействие** – способность отключать электрическую сеть или электроустановку за максимально короткое время (как правило, 0,1–0,4 с).

2. **Чувствительность** – способность реагировать только на аварийный или предаварийный режим работы электроустановки.

3. **Селективность** – способность отключать только тот участок электрической сети, на котором наблюдается аварийная, пожароопасная ситуация.

### 2.3.1. Плавкие предохранители

**Плавкие предохранители** – это такие аппараты, у которых в результате расплавления специальных элементов размыкается цепь, в которую они подключены, тем самым отключая ток, значение которого было превышено продолжительное время [38, 41, 44].

Плавкие предохранители обеспечивают пожарную безопасность электроустановок за счет срабатывания на *токи короткого замыкания* и *длительных токов перегрузки*. К главному достоинству плавких предохранителей следует отнести их простоту конструкции и, как следствие, их надежность. Отказ в срабатывании плавкого предохранителя особенно при коротком замыкании – явление практически невозможное. Существуют некоторые недостатки плавких предохранителей, а именно одноразовость, сложность при использовании их в трехфазных сетях, питающих электродвигатели, увеличенное время срабатывания предохранителя. Современные конструкции предохранителей нивелируют многие обозначенные недостатки. Так, например, выпускаются предохранители под специальный держатель-разъединитель, позволяющий оперативно заменить перегоревшую плавкую вставку (рис. 19).

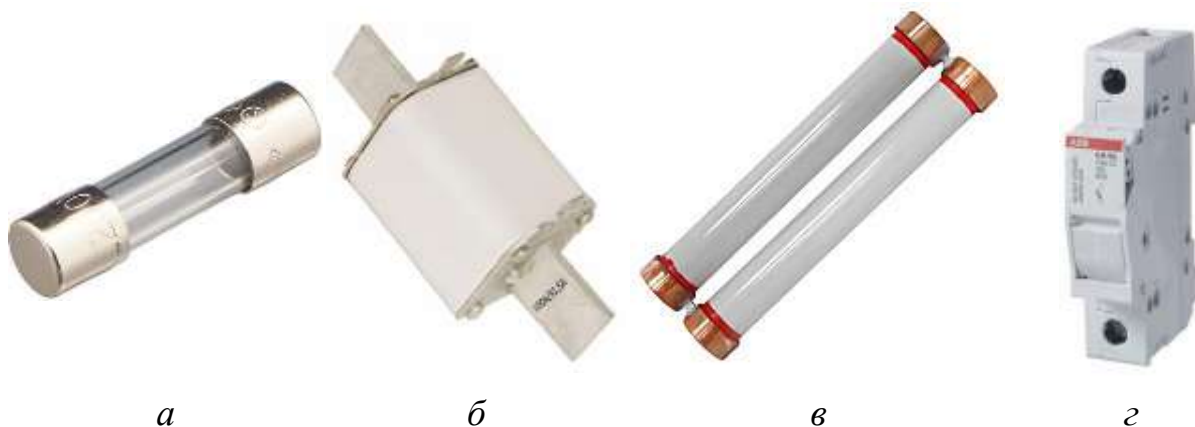


Рисунок 19 – Плавкие предохранители:  
*a* – без наполнителя; *б* – с наполнителем;  
*в* – высоковольтный плавкий предохранитель;  
*г* – держатель-разъединитель для предохранителя

Конструкция современных предохранителей весьма многообразна, Она может быть *разборной* или *неразборной*. Разборная конструкция подразумевает возможность замены плавких элементов (рис. 20) после срабатывания предохранителя, при этом специальный инструмент для этого не потребуется.



Рисунок 20 – Плавкий элемент предохранителя

В момент срабатывания предохранителя внутри его корпуса образуется электрическая дуга. По способу гашения электрической дуги предохранители подразделяются на предохранители *с наполнителем* и *без наполнителя*. У предохранителя с наполнителем гашение дуги осуществляется за счет расплавления порошкообразного вещества, чаще всего кварцевого песка или талька. В предохранителях без наполнителя гашение дуги происходит

благодаря высокому давлению в патроне или движению инертных газов (например, аргона) или воздуха.

Маркировка плавкого предохранителя представлена на рис. 21.

<b>ППН – XX X X – XX XXXX</b>					
<u>предохранитель плавкий наполненный</u>					
номинальный ток основания, А: 33 – 60, 35 – 250, 37 – 400, 39 – 630, 41 – 1250					
способ монтажа и вид присоединения внешних проводников: X – (без основания, без держателя) плавкая вставка 2 – на собственном изоляционном основании 5 – на изоляционном основании комплектного устройства 7 – на проводниках комплектного устройства					
наличие указателя срабатывания и свободных контактов: 0 – без указателя и без свободных контактов 1 – с указателем срабатывания, со свободными контактами 2 – с центральным указателем срабатывания 3 – с указателем срабатывания, без свободных контактов					
степени защиты по ГОСТ 14255-69 [1]					
климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 [1]					

Рисунок 21 – Расшифровка маркировки предохранителя (на примере марки ППН)

Плавкие предохранители характеризуются следующими основными параметрами [4]:

- *номинальное напряжение*  $U_{н.нр}$  – напряжение, указанное на предохранителе и соответствующее наибольшему номинальному напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя;
- *номинальный ток предохранителя*  $I_{н.нр}$  – ток, указанный на предохранителе и равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя. На этот ток рассчитаны все токоведущие контактные части предохранителя;



- *номинальный ток плавкой вставки*  $I_{н.вст}$  – ток, указанный на вставке, для которого она предназначена, при длительной работе. Номинальный ток предохранителя всегда должен быть больше или равен номинальному току плавкой вставки, т.е.  $I_{н.пр} \geq I_{н.вст}$ ;
- *пограничный ток плавкой вставки*  $I_{\infty}$  – ток, при котором вставка расплавится через промежуток времени, достаточный для достижения ею установившейся температуры. Это время обычно равно 1–2 ч. Ток  $I_{\infty}$  больше  $I_{н.вст}$ .

Для определения надежности защиты электроустановок от токов короткого замыкания или тока перегрузки следует изучить защитную (времятоковую) характеристику плавкого предохранителя. *Защитная характеристика* устанавливает зависимость времени полного отключения предохранителя  $\tau_{откл}$  от отношения ожидаемого тока в цепи  $I$  (тока КЗ или перегрузки) к номинальному току плавкой вставки  $I_{н.вст}$ . Типовая характеристика плавкого предохранителя представлена на рис. 22 [44].

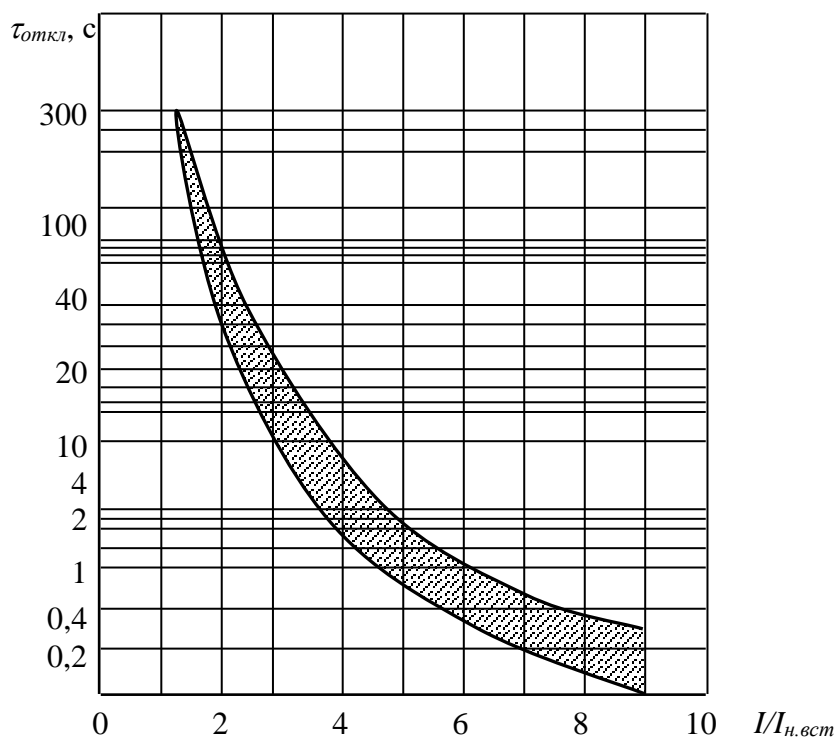


Рисунок 22 – Типовая защитная (времятоковая) характеристика плавкого предохранителя

Как видно из рис. 22, защитная характеристика предохранителя изображена не в виде полосы, а в виде заштрихованной области. Это объясняется отклонением характеристик отдельных предохранителей от средних значений вследствие производственных допусков в составе плавких вставок и их размеров.

Определение надежности защиты электроустановок от токов короткого замыкания и перегрузки при помощи предохранителей производится путем совмещения (рис. 23) на одном графике показателей защитной характеристики предохранителя и тепловой характеристики защищаемой электроустановки. *Тепловая характеристика электроустановки* показывает зависимость участка времени, в течение которого температура электроустановки достигнет предельно допустимого значения из-за превышения фактического тока  $I$  над номинальным  $I_n$  [44].

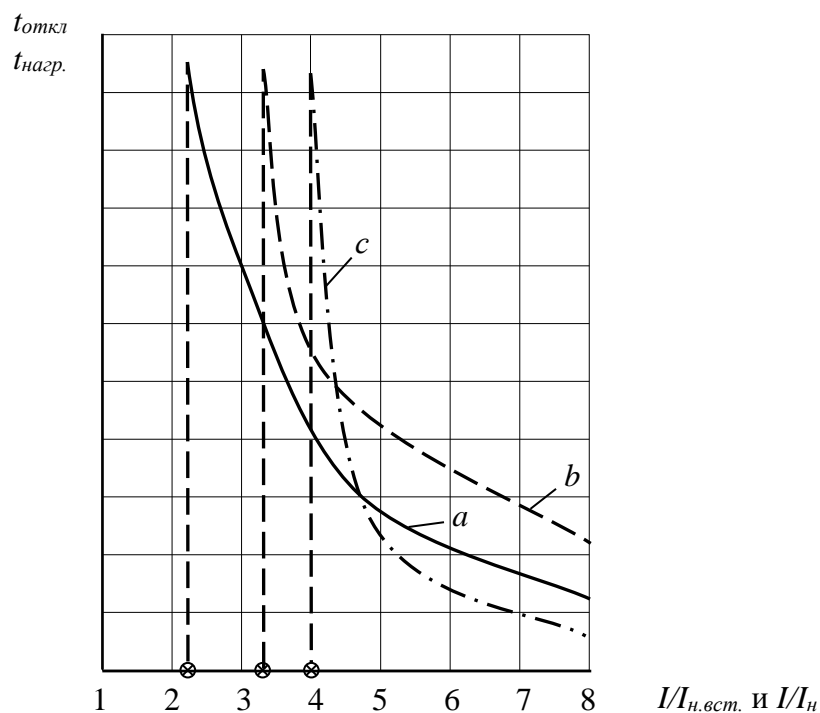


Рисунок 23 – Сопоставление защитной характеристики предохранителя с тепловой характеристикой электроустановки:  
 $a, c$  – защитные характеристики;  $b$  – тепловая характеристика

Как видно из рис. 23 предохранитель с защитной характеристикой  $a$  способен обеспечить защиту электроустановки с тепловой характеристикой  $b$ , а предохранитель с характеристикой  $c$  способен обеспечить защиту, но уже при значительном превышении фактического тока над номинальным. Такое превышение может привести к значительному росту температуры электроустановки до срабатывания предохранителя. В этой связи для улучшения защитных характеристик плавких вставок, зависящих в основном от отношения  $I / I_{н.вст}$ , необходимо, чтобы это отношение было как можно меньше при малом времени отключения  $\tau_{откл}$ , т.е. характеристика должна быть пологой. Следует отметить, что слишком малое отношение  $I / I_{н.вст}$  может вызвать ложное отключение электрооборудования (особенно электродвигателей), что часто недопустимо, поскольку вызывает нарушение работы технологических установок, особенно в химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Лучшим отношением номинального тока электроустановки к номинальному току плавкой вставки ( $I_{\infty} / I_{н.вст}$ ) является от 1,25 до 2,0.

Таким образом, для обеспечения пожарной безопасности электроустановок посредством предохранителей важно соблюсти условие:

$$\tau_{откл} \leq \tau_{нагр} \cdot \quad (16)$$

Выбор предохранителя по номинальному току должен придерживаться следующего условия:

$$I_{н.пл.вст} \geq I_{раб}, \quad (17)$$

где  $I_{раб}$  – рабочий ток электроустановки, А.

При подборе предохранителя для защиты асинхронного электродвигателя важно помнить о наличии пускового тока в момент запуска:

$$I_{н.пл.вст} = \frac{I_{пуск.дв}}{\alpha}, \quad (18)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий действие и частоту проявления пусковых токов электродвигателя (для частых запусков электродвигателя принимается равным – 1,6; для кратковременных и редких пусков – от 1,75 до 2,5).

При этом выбранный предохранитель должен быть чувствительным к короткому замыканию:

$$I_{н.пл.вст} \leq \frac{I_{кз}^1}{3}. \quad (19)$$

А для взрывоопасных зон:

$$I_{н.пл.вст} \leq \frac{I_{кз}^1}{4}, \quad (20)$$

где  $I_{кз}^1$  – ток однофазного короткого замыкания [38, 44].

### 2.3.2. Автоматические выключатели

**Автоматический выключатель** – это коммутационный аппарат, предназначенный для защиты электрических цепей от аномальных режимов, способный включать, проводить и отключать токи при нормальной работе цепи [38, 41, 44].

Как и предохранители, автоматические выключатели способны обеспечить защиту электроустановки от *короткого замыкания* или *перегрузки*, но в отличие от них автоматические выключатели допускается использовать и для нечастых *коммутаций* (операций включения-отключения). Иными словами автоматические выключатели объединяют функции как реле защиты, так и коммутатора (рубильника, контактора).

В зависимости от функций и конструктивного исполнения автоматические выключатели следует классифицировать на три группы:

- 1) автоматические выключатели общего назначения;
- 2) быстродействующие автоматические выключатели;
- 3) автоматические выключатели специального назначения.

Автоматические выключатели **общего назначения** применяются для защиты промышленных и бытовых электроустановок в цепях переменного и постоянного токов [29]. Такие автоматические выключатели, как правило, не имеют возможности регулировки тока срабатывания расцепителя и время срабатывания составляет порядка 50–100 миллисекунд. **Быстродействующие** автоматические выключатели чаще всего используются в цепях постоянного тока при больших токах нагрузки (до нескольких тысяч ампер), время срабатывания при этом у них составляет 2–8 миллисекунды. **Специальные** автоматические выключатели применяются для гашения магнитного поля возбуждения машин постоянного тока большой мощности.

Автоматические выключатели характеризуются следующими основными параметрами [17]:

- *номинальное напряжение*  $U_{н.авт}$  – напряжение, на которое рассчитан данный автоматический выключатель, оно должно соответствовать наибольшему номинальному напряжению электрической сети к которой он подключен;
- *номинальный ток*  $I_{н.авт}$  – наибольший ток, на который рассчитаны все контактные и токоведущие части автоматического выключателя;
- *номинальный ток электромагнитного, теплового и комбинированного расцепителя* ( $I_{н.эл.м}$ ,  $I_{н.тепл}$  или  $I_{н.комб}$ ) – наибольший ток, который выдерживают расцепители, не нагреваясь и не срабатывая;
- *ток срабатывания (ток уставки) расцепителей*  $I_{ср.эл.м}$ ,  $I_{ср.тепл}$  – наименьший ток, при котором наблюдается срабатывание расцепителей и размыкание цепи, к которой подключен автоматический выключатель;
- *предельный ток отключения при данном напряжении*  $I_{пр.а}$  – наибольшее значение тока короткого замыкания в электросети, при котором гарантируется надежная работа автоматического выключателя без

выгорания, приваривания и электродинамического отброса контактов и без деформации его деталей;

- *полное время отключения* автоматического выключателя  $\tau_{откл}$  – время, затрачиваемое на срабатывание расцепителей, действие механизма управления и расхождения контактов. Полное время отключения зависит от значения токов короткого замыкания и составляет обычно 0,01–0,02 с.

Зависимость полного времени отключения от отношения тока в цепи к номинальному току расцепителя определяет *защитную (времятоковую) характеристику* автоматического выключателя (рис. 24) [44].

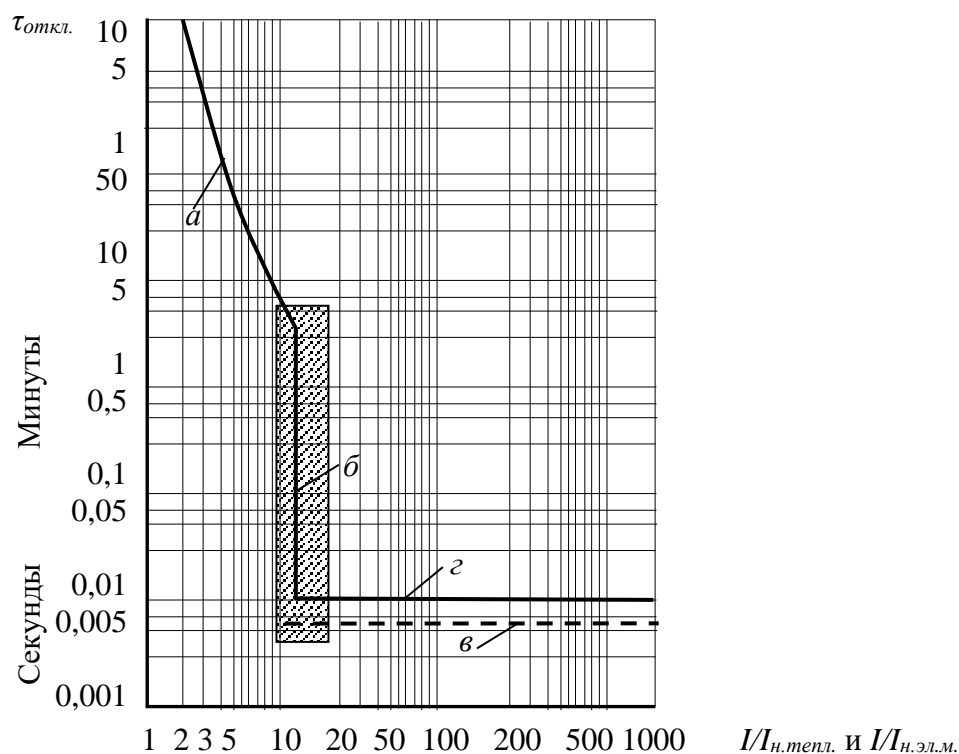


Рисунок 24 – Пример защитной (времятоковой) характеристики автоматического выключателя с комбинированным расцепителем

На рис. 24 кривая, *а* демонстрирует зависимость времени отключения от кратности тока перегрузки, отключаемого тепловым расцепителем, кривая *б* показывает кратность тока, при которой уже начинает реагировать электромагнитный расцепитель практически без выдержки времени, линия *в*

показывает время от начала короткого замыкания до момента начала раздвижения подвижного контакта автоматического выключателя. При этом срабатывание автоматического выключателя происходит независимо от того, продолжается дальше короткое замыкание или нет. Линия *z* описывает время полного отключения автоматическим выключателем тока короткого замыкания.

Как и у плавких предохранителей, защитная характеристика автоматических выключателей позволяет оценить надежность защиты элементов электроустановок от токов короткого замыкания и токов перегрузок. Для этого также требуется сопоставлять защитную характеристику автоматического выключателя с тепловой характеристикой защищаемого элемента электроустановки.

Внешний вид автоматического выключателя представлен на рис. 25.



Рисунок 25 – Внешний вид автоматического выключателя:  
*a* – однополюсной; *б* – трехполюсной; *в* – обозначение характеристик автоматического выключателя на его корпусе

Устройство автоматического выключателя общего назначения представлено на рис. 26.

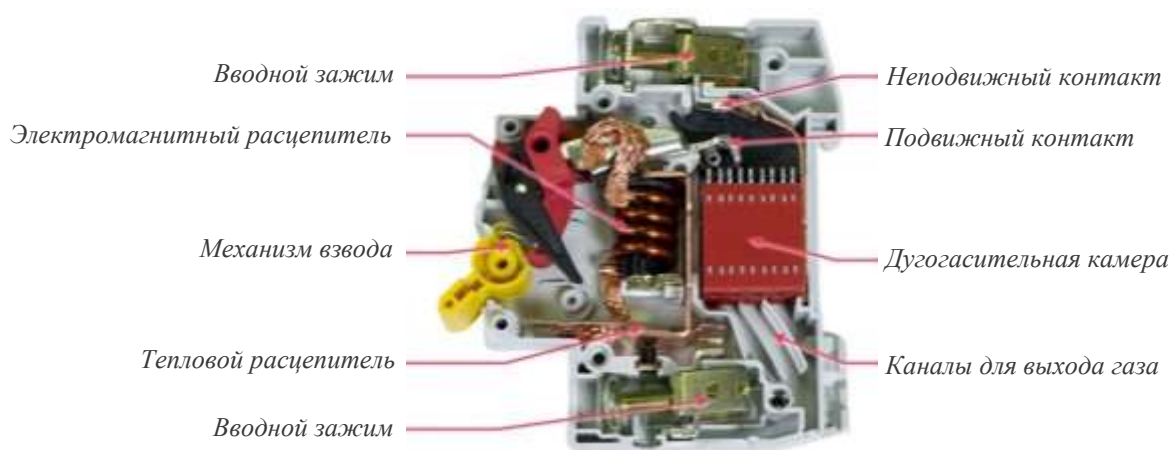


Рисунок 26 – Общее устройство автоматического выключателя

Главным элементом автоматического выключателя, обеспечивающего автоматическое срабатывание при аномальном режиме, является **расцепитель**. У автоматических выключателей различают следующие виды расцепителей:

- 1) тепловой расцепитель;
- 2) электромагнитный расцепитель;
- 3) комбинированный расцепитель;
- 4) электронный расцепитель;
- 5) расцепитель минимального напряжения;
- 6) независимый расцепитель.

**Тепловой расцепитель** автоматического выключателя предназначен для защиты электроустановок от токов перегрузки и выполнен в виде биметаллической пластинки, изготовленной из металлов с различными температурными коэффициентами расширения. В случае перегрузки биметаллическая пластинка нагревается, неравномерно удлиняется и в результате изгибается, воздействуя при этом на механизм управления автоматического выключателя. На рис. 27 представлена защитная характеристика теплового расцепителя автоматического выключателя, устанавливающая зависимость времени срабатывания от кратности тока нагрузки в цепи [44].



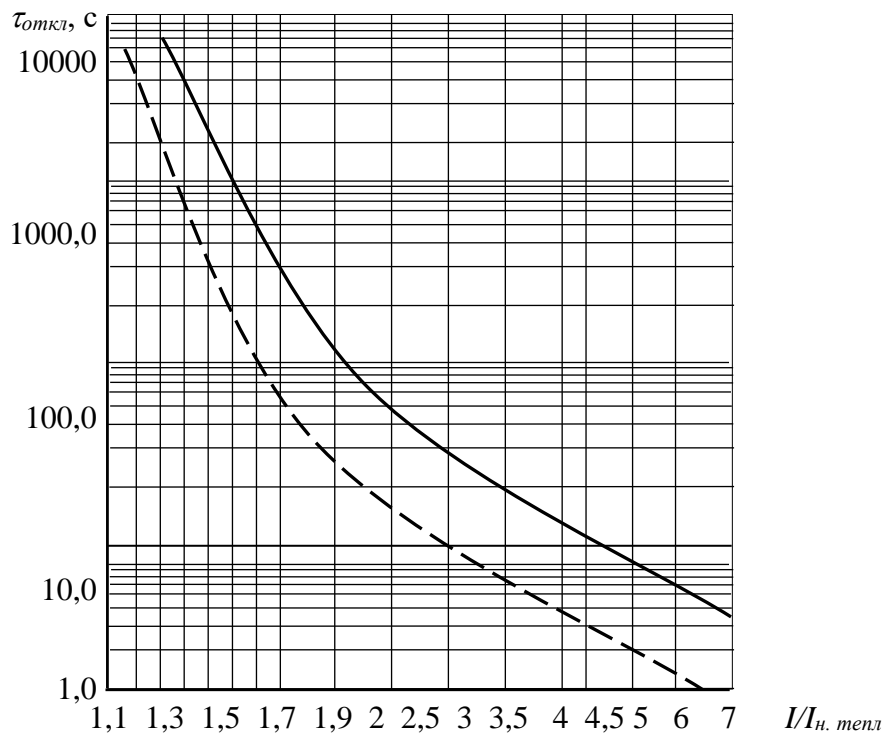


Рисунок 27 – Защитная характеристика теплового расцепителя автоматического выключателя (АБ-25М)

Характеристика теплового расцепителя, как правило, задается в виде двух линий, соответствующих срабатыванию с холостого и горячего состояний.

**Электромагнитный расцепитель** представляет собой реле максимального тока, состоящее из электромагнитной катушки, при протекании через которую токов короткого замыкания происходит притяжение подвижного контакта и в результате срабатывание автоматического выключателя. Электромагнитный расцепитель всегда включается последовательно с нагрузкой. Поскольку в отличие от тепловых расцепителей электромагнитные расцепители нерегулируемые, то кратность электромагнитного расцепителя определяется в зависимости от величины ожидаемых пусковых токов в цепи. В маркировке автоматического выключателя кратность электромагнитного расцепителя указывается буквенным обозначением: А, В, С, D. Токвая характеристика,

определяющая зависимость типа электромагнитного расцепителя, времени его срабатывания и кратности, представлена на рис. 28 [37].

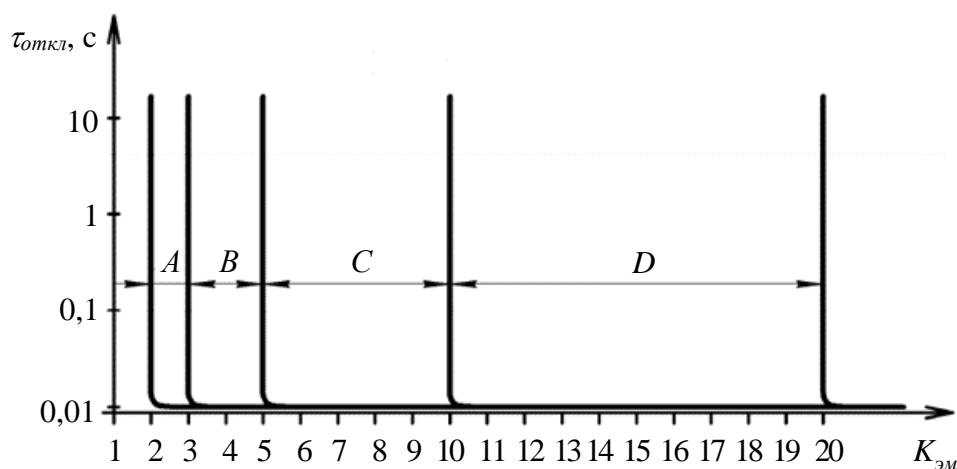


Рисунок 28 –Токовая характеристика электромагнитного расцепителя автоматического выключателя

Автоматические выключатели типа «А» оснащены электромагнитным расцепителем, срабатывающим в пределах 2–3-кратного превышения тока от рабочего (номинального) тока электроустановки. Такие автоматические выключатели рекомендуется устанавливать для защиты электроустановок, перегрузка которых даже на непродолжительное время недопустима, например, для электронного оборудования.

Автоматические выключатели типа «В» оснащены электромагнитным расцепителем, срабатывающим в пределах 3–5-кратного превышения тока от рабочего (номинального) тока электроустановки. Такие автоматические выключатели рекомендуется устанавливать для защиты осветительных электроустановок, а также для розеточных групп, размещенных в жилых или административных помещениях.

Автоматические выключатели типа «С» оснащены электромагнитным расцепителем, срабатывающим в пределах 5–10-кратного от номинального тока. Данные автоматические выключатели рекомендуется устанавливать для защиты общей сети на вводе в распределительный щит, а также для защиты промышленных электроустановок с небольшими пусковыми токами (например, прожекторы с лампами ДНаТ, ДРЛ).

Автоматические выключатели типа «D» оснащены электромагнитным расцепителем, срабатывающим в пределах 10–20-кратного от номинального тока. Данные автоматические выключатели устанавливаются для защиты электроустановок с большими пусковыми токами (например, силовые трансформаторы, асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым контуром). Такие автоматические выключатели применяются исключительно в промышленных установках [33].

Часто встречаются автоматические выключатели, снабженные сразу двумя видами расцепителей, их еще называют **комбинированными**.

**Электронные расцепители** также применяются для защиты электроустановок от токов перегрузки и токов короткого замыкания. Но в отличие от тепловых и электромагнитных расцепителей в них применяются трансформаторы тока в сочетании с операционными усилителями. Механическая часть автоматического выключателя при этом значительно упрощается. Электронные расцепители имеют возможность регулирования в широких диапазонах, как токов, так и времени срабатывания. Применение автоматических выключателей с электронным расцепителем весьма перспективно, так как возможность тонкой регулировки, наличие индикации токов нагрузки, связь по интерфейсу с компьютером верхнего уровня позволяет в значительной степени повысить защиту электроустановок и их пожарную безопасность (рис. 29).



Рисунок 29 – Внешний вид автоматического выключателя с электронным расцепителем

Современные автоматические выключатели могут быть оснащены **расцепителем минимального напряжения**, который представляет собой реле напряжения, реагирующее на недопустимое падение напряжения (менее 70 % от номинального). Такие автоматические выключатели рекомендуется устанавливать для защиты электродвигателей, поскольку падение напряжения для них неизбежно вызывает катастрофическое падение крутящего момента на валу и, как результат, перегрев и ускоренное старение изоляции обмоток.

Для пожаровзрывоопасных объектов необходимо устанавливать автоматические выключатели, дополнительно снабженные **независимыми расцепителями**. Использование автоматических выключателей с независимым расцепителем позволяет дистанционно производить оперативное управление электроустановками, что особенно важно при угрозе пожаров и взрывов.

Кроме **расцепителей** устройство автоматических выключателей включает в себя **дугогасительную камеру**, необходимую для гашения дуги, возникающей в момент размыкания контактов, а также **механизм управления**, предназначенный для мгновенной коммутации.

В момент раздвижения контактов неизбежно образуются электрическая дуга или искры, выход которых за пределы корпуса автоматического выключателя должен быть полностью *исключен*. Температура возникающих между контактами дуги или искр может достигать 6000 °С, что чревато не только выжиганием контактов, но и, в случае выхода их за пределы корпуса автоматического выключателя, зажиганием паропылегазовоздушной смеси, образующейся во взрывоопасных зонах.

Автоматические выключатели чаще всего оснащаются дугогасительными камерами щелевого типа, которые имеют узкий просвет между стенками из дугостойкого изоляционного материала (керамики или асбестоцемента). Возникшая при размыкании контактов электрическая дуга принудительно за счет магнитного поля загоняется в щели дугогасительной

камеры. Гашение дуги при этом обеспечивается вследствие ее дробления и деионизации в щелях дугогасительной камеры, состоящей из множества поперечных металлических пластин. Устройство дугогасительной камеры представлено на рис. 30.

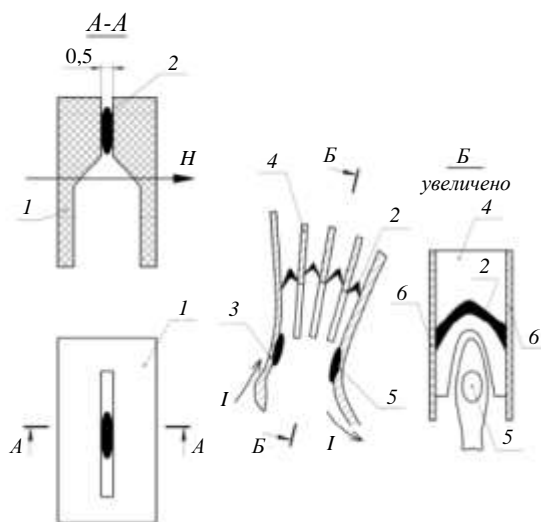


Рисунок 30 – Устройство дугогасительной камеры:

- 1 – дугогасительная асбестоцементная камера; 2 – электрическая дуга;
- 3, 5 – неподвижный и подвижный контакты; 4 – стальная пластина решетки;
- 6 – изоляционные теплостойкие пластины;
- H* – направление действия внешнего магнитного поля

Пожарная безопасность электроустановок может быть обеспечена при условии правильного выбора автоматических выключателей. Выбор автоматических выключателей должен быть сопряжен с подбором и последующим расчетом многих параметров: номинальным напряжением автоматического выключателя, числом полюсов, номинальным током, типом расцепителей и токами их срабатывания.

Так, по номинальному напряжению должно выдерживаться следующее условие:

$$U_{н.авт} \geq U_{сети} \cdot \quad (21)$$

По номинальному току:

$$I_{н.авт} \geq I_{раб.уст} \cdot \quad (22)$$

По току срабатывания теплового расцепителя:

$$I_{ср.тепл} \geq \frac{I_{раб}}{K_N K_t}, \quad (23)$$

где  $I_{раб}$  – рабочий (номинальный) ток электрической цепи;

$K_N$  – коэффициент полюсности (определяется количеством полюсов, рис. 31);

$K_t$  – температурный коэффициент (определяемый температурой окружающей среды, в которой установлен автоматический выключатель, рис. 32).

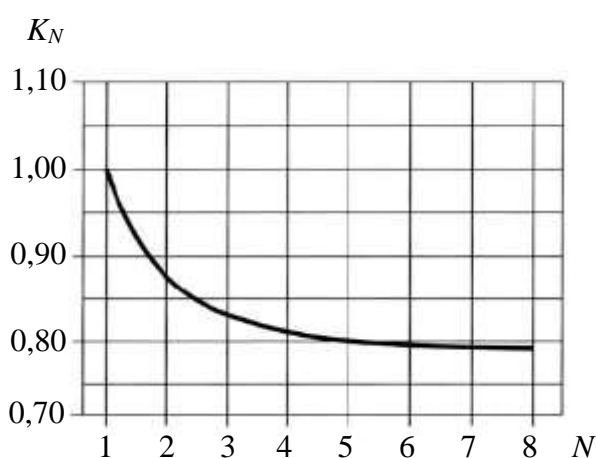


Рисунок 31 – Зависимость коэффициента полюсности от количества полюсов

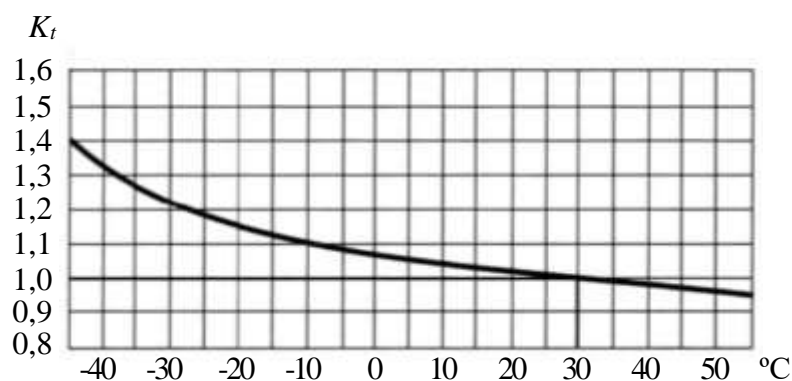


Рисунок 32 – Зависимость температурного коэффициента температуры окружающей среды

Ток срабатывания теплового расцепителя при этом определяется его номинальным током:

$$I_{ср.тепл} = (1,25 - 1,45) I_{н.тепл}. \quad (24)$$

Для автоматических выключателей, снабженных возможностью регулировки тока уставки:

$$I_{ср.тепл} = (1,25 - 1,33)I_{н.тепл}. \quad (25)$$

По току срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{ср.эл.м} = K_{эл.расц} I_{раб}, \quad (26)$$

где  $K_{эл.расц}$  – кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя, определяемая защитной характеристикой автоматического выключателя.

$$K_{эл.расц} \geq K_H K_i, \quad (27)$$

где  $K_H$  – коэффициент надежности отстройки от пускового тока (при размещении автоматического выключателя во внутренних сетях зданий принимать 1,25, при размещении в трансформаторной подстанции – 1,5);

$K_i$  – кратность пускового тока.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя зависит от его номинального тока:

$$I_{ср.эл.м} = (7 - 15)I_{н.эл.м}. \quad (28)$$

Если выбранный автоматический выключатель расположен в сети питания электродвигателя, то он должен быть проверен по условию несрабатывания от пусковых токов:

$$I_{н.расц} K_{эл.мин} \geq K_{отс} I_{н.дв} k_i, \quad (29)$$

где  $K_{эл.мин}$  – минимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса автоматического выключателя;

$K_{отс}$  – коэффициент надежности отстройки от пускового тока (для автоматических выключателей внутренних сетей принимать равным 1,25, для автоматических выключателей, установленных на вводе в здание, – 1,45);

$I_{н.дв}$  – номинальный ток двигателя, А;

$k_i$  – кратность пускового тока.

Кроме того, выбранный автоматический выключатель должен быть проверен по условию чувствительности к однофазному короткому замыканию:

$$\frac{I_{кз}^1}{I_{н.расц.} K_{эм.мах}} \geq 1,45, \quad (30)$$

где  $I_{кз}^1$  – ожидаемый ток однофазного короткого замыкания, кА;

$K_{эм.мах}$  – максимальная кратность тока срабатывания выбранного класса автоматического выключателя.

Для обеспечения пожарной безопасности электроустановок автоматические выключатели, как и другие аппараты защиты, должны подключаться каскадно (последовательно) от источника питания через распределительные щиты к конечным электроприемникам. Поэтому важно обеспечить условие селективности:

$$\begin{aligned} t_{ср.QF2} &> t_{ср.QF1}, \\ I_{н.расц.QF2} K_{эм.мах2} &> I_{н.расц.QF1} K_{эм.мах1}, \end{aligned} \quad (31)$$

где  $t_{ср.QF2}$  и  $t_{ср.QF1}$  – время срабатывания автоматического выключателя, расположенного дальше и ближе к точке короткого замыкания соответственно, с;

$I_{н.расц.QF2}$  и  $I_{н.расц.QF1}$  – номинальные токи расцепителей автоматических выключателей, расположенных дальше и ближе к месту короткого замыкания, А;

$K_{эм.мах2}$  и  $K_{эм.мах1}$  – максимальные кратности токов срабатывания автоматических выключателей, расположенных дальше и ближе к месту короткого замыкания.

При работе электроустановок также важно исключить длительный нагрев питающего провода или кабеля, поэтому должно соблюдаться условие:

$$I_{н.расц.QF2} \leq I_{\partial}. \quad (32)$$



Выбирая автоматический выключатель, следует учесть и количество его полюсов. Для этого необходимо руководствоваться следующими соображениями: в *однофазных цепях* переменного тока необходимо использовать однополюсные автоматические выключатели. В *цепях постоянного тока* выбираются двухполюсные. В *трехфазных цепях* переменного тока следует использовать четырех- и пятиполюсные автоматические выключатели, в зависимости от схемы нейтралей: если нулевой рабочий (N-проводник) и нулевой защитный (PE) проводники совмещены – четырехполюсный, если разделены – пятиполюсный. Трехполюсные автоматические выключатели могут применяться только для защиты симметричных трехфазных потребителей (например, асинхронных электродвигателей), но при условии, что в данной цепи отсутствуют однофазные потребители.

Основные параметры автоматического выключателя указаны как на его корпусе, так и в его паспорте. Структура условного обозначения для автоматического выключателя серии ВА представлена на рис. 33.

<b>ВА51-35 МХ Х Х ХХ Х Х 20 УХЛЗ</b>										
Обозначение серии										
Модификация по номинальному току главных цепей: М1 – 100 А М2 – 125–250 А М3 – 320–400 А										Климатическое исполнение и категория размещения
Число полюсов										Степень защиты
Тип расцепителя: 3 – с расцепителями тока КЗ 4 – с расцепителями тока перегрузки и расцепителями тока КЗ										Дополнительные механизмы: 0 – отсутствуют 5 – ручной дистанционный привод 6 – устройство для запираания
Дополнительные устройства: 00 – отсутствуют 11 – вспомогательные контакты (2р + 2з) 18 – вспомогательные контакты (2р + 1з) и независимый расцепитель										1 – с ручным приводом

Рисунок 33 – Структура условного обозначения выключателей  
(на примере серии ВА)

По сравнению с плавкими предохранителями автоматические выключатели отличаются следующими достоинствами:

- сравнительно меньшее время отключения;
- возможность быстрого восстановления питания после ликвидации аномального режима;
- возможность защиты трехфазных электроустановок (например, электродвигателей) при исключении неполнофазного режима;
- возможность некоторой регулировки тока срабатывания теплового расцепителя;
- возможность дистанционной коммутации (отключения);
- относительная безопасность обслуживания и замены.

Вместе с тем следует отметить и ряд недостатков, присущих автоматическим выключателям:

- ухудшение защитных свойств после каждого случая срабатывания (особенно после коротких замыкания);
- изменение времятоковой характеристики;
- неконтролируемый износ контактов в результате их пригорания;
- увеличение переходного сопротивления контактов в процессе эксплуатации.

Также необходимо помнить, что каждый факт срабатывания автоматического выключателя должен анализироваться, должны быть выявлены и устранены причины его срабатывания. Повторное включение автоматического выключателя без устранения причины срабатывания недопустимо.

### **2.3.3. Устройства защитного отключения**

Использование аппаратов защиты от сверхтоков в виде предохранителей и автоматических выключателей является обязательным условием для обеспечения пожарной безопасности электроустановок. Указанные выше аппараты защиты срабатывают, размыкая цепь только в случае возникновения аномального режима, например короткого замыкания.

Учитывая некоторую инертность аппаратов защиты, отключение цепи в момент аварийного режима может быть недостаточным для предотвращения пожара. Обеспечение пожарной безопасности электроустановок возможно при условии предупреждения процессов старения изоляции как главной причины коротких замыканий. При эксплуатации электроустановок контроль состояния изоляции периодически осуществляется обслуживающим персоналом. Однако процессы старения изоляции весьма труднопрогнозируемы и порой трудноконтролируемы. Деструкция полимерной изоляции, снижение ее диэлектрической прочности неизбежно вызывают токи утечки от проводов и кабелей на землю. Токи утечки могут быть весьма малыми по своей величине (десятки миллиампер), однако именно их появление свидетельствует о начавшемся процессе разрушения слоев изоляции проводов и кабелей. Фиксация данных токов утечки и своевременное отключение цепи позволит предупредить дальнейшее развитие разрушения изоляции и, в результате, значительно снизить вероятность развития пожара.

Для контроля токов утечки и защиты электроустановок от пожаров применяются **устройства защитного отключения** [13], управляемые дифференциальным током, или **дифференциальные автоматические выключатели** [18]. Принцип работы обозначенных устройств основан на измерении дифференциальных токов, возникающих при утечке тока на землю. Контроль дифференциальных токов осуществляется бесконтактным способом с помощью дифференциального трансформатора тока, являющегося основным элементом устройств защитного отключения (далее –

УЗО). Принципиальная электрическая схема и внутреннее устройство УЗО представлены на рис. 34–35.

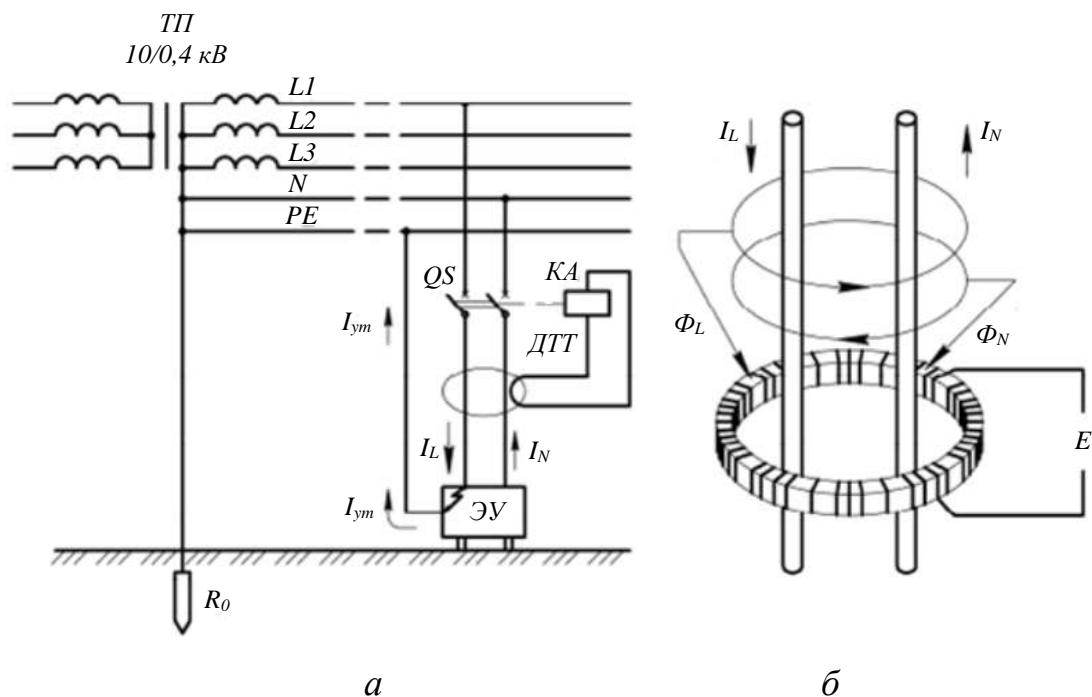


Рисунок 34 – Принципиальная электрическая схема УЗО, реагирующего на дифференциальный ток питающих проводников (а) и принцип действия ДТТ (б):

ДТТ – дифференциальный трансформатор тока; КА – реле тока (расцепитель выключателя QS);  $I_L$ ,  $I_N$  – ток в фазном и нулевом проводниках;  $I_{ym}$  – ток утечки; ЭУ – электрическая установка

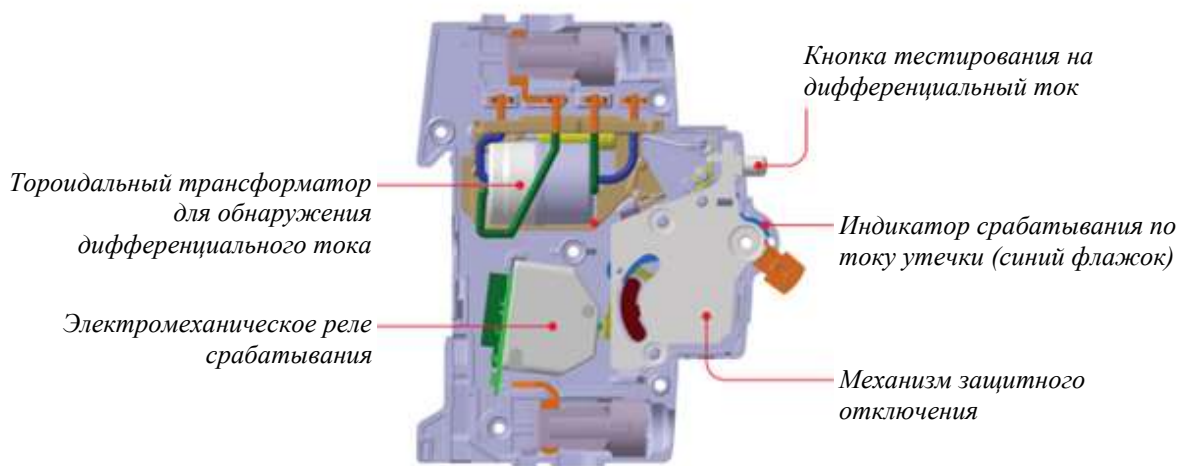


Рисунок 35 – Внутреннее устройство УЗО

При нормальном состоянии изоляции утечка тока отсутствует, ток в фазном проводнике численно равен току в нулевом проводнике, т.е.  $I_L = I_N$  (рис. 34), результирующий магнитный поток в сердечнике дифференциального трансформатора тока при этом равен нулю. При нарушении диэлектрической прочности изоляции возникает ток утечки, а значит, ток в фазном проводнике будет превышать ток в нулевом проводнике цепи. Результирующий магнитный поток в трансформаторе при этом уже будет отличен от нуля. Во вторичной обмотке трансформатора возникнет электродвижущая сила (далее – ЭДС), пропорциональная силе тока утечки. Встроенное в УЗО реле тока реагирует на возникновение ЭДС и приводит в действие механический выключатель УЗО, цепь размыкается.

К достоинствам УЗО можно отнести:

- способность обеспечивать как пожарную безопасность, так и электробезопасность людей (при прикосновении к токоведущим или открытым проводящим частям электроустановок);
- возможность применения в сетях любых напряжений с различными режимами работы нейтралей;
- независимость функционирования устройства от значений сопротивления нулевого проводника.

Вместе с тем УЗО не способны зафиксировать утечку тока между фазами и имеют достаточно сложное устройство.

УЗО, управляемые дифференциальным током, классифицируются на три группы:

- электромеханические;
- электронные;
- совмещенные с автоматическим выключателем.

**Электронные УЗО** имеют блок питания, усилитель и активный механизм коммутации, требующий для нормальной работы электроэнергии. При исчезновении напряжения на блоке питания такое УЗО становится неработоспособным. Аналогичная ситуация может произойти и при обрыве

нулевого рабочего проводника. Поэтому применение лишь данного типа УЗО не позволяет обеспечить необходимый уровень электро- и пожаробезопасности. Описанный недостаток электронного УЗО может быть нивелирован путем совместного применения электромагнитного пускателя, работающего в режиме контроля напряжения сети. При исчезновении напряжения или обрыве нулевого проводника пускатель отключает сеть. Однако наличие большого количества электронных компонентов, уязвимых перед воздействием окружающей среды или низкого качества электроэнергии, делает данный тип УЗО ненадежным. Применение электронного УЗО для защиты электрооборудования, располагаемого в пожаровзрывоопасных зонах, не рекомендуется. Допускается использование электронного УЗО исключительно для дополнительной защиты конечных потребителей, например, в переносном электроинструменте.

**Электромеханические УЗО**, в отличие от электронных, не содержат электронных компонентов в виде усилителей, что делает данный тип УЗО достаточно надежным.

**Совмещенные УЗО** представляют собой комбинированное устройство, включающее в себя элементы автоматического выключателя (тепловой и электромагнитный расцепитель), дифференциальный трансформатор тока и магнитоэлектрический расцепитель. Такие устройства получили название **автоматические выключатели дифференциального тока**. Автоматические выключатели дифференциального тока (далее – АВДТ) срабатывают от действия одного из трех расцепителей. Как и в УЗО, данный вид выключателей снабжен тестовым самопроверочным механизмом, приводимым в действие нажатием кнопки «ТЕСТ». Внешний вид УЗО и АВДТ представлен на рис. 36.

При монтаже УЗО или АВДТ в распределительных щитах необходимо чтобы через данные аппараты защиты были подключены фазные и нулевой рабочий (N) проводники. Поэтому УЗО и АВДТ могут быть двух-, трех- и четырехполюсными. Для однофазных потребителей применяют

двухполюсное УЗО, для трехфазных – четырехполюсное. Трехполюсное УЗО применяется крайне редко и в основном для трехфазных электроустановок с симметричной нагрузкой.

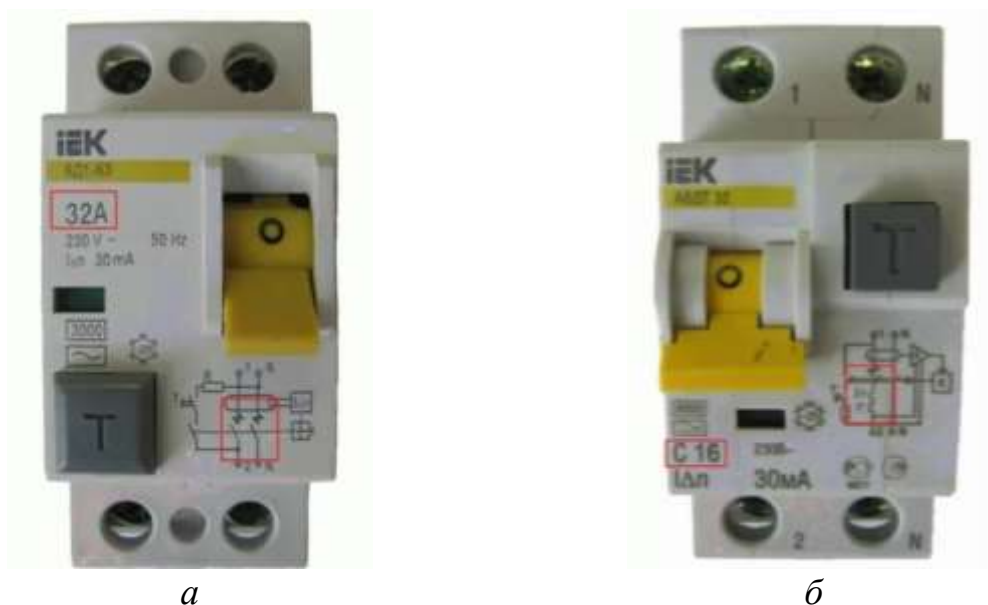


Рисунок 35 – Внешний вид аппаратов дифференциальной защиты:  
*а* – УЗО; *б* – АВДТ

**Основные параметры,** необходимые при выборе УЗО и АВДТ [13, 18]:

- *номинальное напряжение  $U_n$*  – напряжение, на которое рассчитано УЗО для сохранения своей работоспособности. В силовых и осветительных сетях, как правило, УЗО имеют номинальное напряжение 220 В или 380 В. Причем электромеханические УЗО способны сохранять свою работоспособность при любых напряжениях, что обусловлено отсутствием в них электронных усилителей;
- *номинальный ток нагрузки  $I_n$*  – наибольший ток, который УЗО может длительное время выдерживать, не нагреваясь при этом до недопустимых температурных значений. При выборе УЗО важно сопоставить номинальный ток и допустимый ток провода или кабеля, к которому оно подключено;

- *номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$*  – значение уставки дифференциального тока (тока утечки), вызывающее срабатывание УЗО. УЗО и АВДТ могут иметь следующие значения отключающего дифференциального тока: 10; 30; 100; 300 и 500 мА. Причем УЗО, имеющие ток срабатывания на 10 и 30 мА, принято считать электробезопасными, т.е. обеспечивающими прежде всего *электробезопасность* человека. Такие УЗО обладают высокой чувствительностью и устанавливаются чаще всего в розеточных группах. УЗО, имеющие ток срабатывания на 100 и 300 мА электробезопасность уже обеспечить не могут (ток более 100 мА для человека является уже смертельно опасным). Такие УЗО обладают средней чувствительностью, обеспечивают функцию *пожарной безопасности* и устанавливаются в линиях силовых и осветительных сетей, в том числе на вводах в распределительные щиты. УЗО с током срабатывания 500 мА являются низкочувствительными и, как правило, устанавливаются на вводе во вводные распределительные устройства (далее – ВРУ) или главного распределительного щита (далее – ГРЩ);
- *номинальный неотключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta no}$*  – значение дифференциального тока, при котором не происходит срабатывания УЗО или АВДТ, при заданных условиях эксплуатации. Для переменного синусоидального тока промышленной частоты номинальный неотключающий дифференциальный ток составляет 50 % от номинального отключающего дифференциального тока ( $I_{\Delta no} = 0,5I_{\Delta n}$ );
- *предельное значение неотключающего сверхтока  $I_{nm}$*  – значение тока, при котором УЗО не реагирует на токи короткого замыкания или токи перегрузки. При больших значениях сверхтока (как правило, при шестикратном превышении номинального) может возникать явление ложного срабатывания УЗО, что недопустимо, поскольку УЗО должно в таком случае быть отключено через автоматический выключатель.



Что касается АВДТ, который уже оснащен электромагнитом и тепловым расцепителем, то предельное значение неотключающего сверхтока должно предопределяться его времятоковой характеристикой, а именно для АВДТ типа **B** –  $2,4I_n$ , для типа **C** –  $4I_n$ , и типа **D** –  $8I_n$ ;

- *номинальная наибольшая включающая и отключающая способность* (коммутационная способность)  $I_m$  – способность УЗО без ухудшения своих характеристик включать, отключать и проводить ток, который по значению равен действующему значению тока короткого замыкания. Данный параметр определяет надежность и качество УЗО и должен соответствовать не менее чем десятикратному значению от номинального тока;
- *время отключения УЗО* – временной интервал между моментом возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги во всех полюсах. Стандартные значения времени отключения УЗО представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Стандартные значения максимального времени отключения для УЗО без выдержки по времени

Значение номинального отключающего дифференциального тока	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	$>5I_{\Delta n}$
Стандартные значения максимального времени отключения, с	0,3	0,15	0,04	0,04

Представленные выше в таблице 8 значения времени отключения применимы в отношении УЗО, работающего без выдержки по времени. Для обеспечения требования селективности должно применяться УЗО с выдержкой по времени. В этом случае время срабатывания УЗО с задержкой 0,06 с определяется по таблице 9.

Таблица 9 – Стандартные значения максимального времени отключения для УЗО с выдержкой по времени

Значение номинального отключающего дифференциального тока	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	$>5I_{\Delta n}$
Стандартные значения максимального времени отключения, с	0,5	0,2	0,15	0,15

Для УЗО, имеющего другое время задержки, значение максимального времени отключения определяется заводом-изготовителем.

**Тип УЗО** – характеристика УЗО, описывающая условие его срабатывания в зависимости от характера электрической нагрузки. Различают следующие типы УЗО:

1. **Тип А** – УЗО реагирует на утечку переменного и пульсирующего постоянного дифференциального тока. Данное УЗО является весьма чувствительным, его рекомендуется использовать в сетях, к которым относятся бытовые и промышленные электроустановки, имеющие диодные выпрямители, тиристорные преобразователи, преобразователи частоты, электронные блоки питания и т.д.

2. **Тип В** – УЗО универсального применения, т.е. реагирующие как на переменные, пульсирующие, так и на постоянные дифференциальные токи. Такие УЗО чаще находят применение в сетях промышленных электроустановок постоянного тока или со смешанным питанием.

3. **Тип АС** (рис. 37) – УЗО, реагирующее исключительно на дифференциальный синусоидальный переменный ток. Такие УЗО имеют простую конструкцию и рекомендованы к применению для защиты электроустановок, работающих без каких-либо электронных пускорегулирующих аппаратов или блоков питания, например, асинхронные электродвигатели. Необходимо отметить, что УЗО **типа А** предпочтительнее УЗО **типа АС**.

Следует также выделить УЗО с типом **S** (рис. 37) и с типом **G** – это УЗО, которые срабатывают с задержкой по времени на 120 и 60 мс соответственно. Такие УЗО целесообразны для обеспечения селективной защиты.

Основные параметры УЗО и АВДТ указываются на фронтальной стороне их корпуса, а также в паспорте изделия. Пример обозначения параметров и маркировки УЗО представлен на рис. 38.

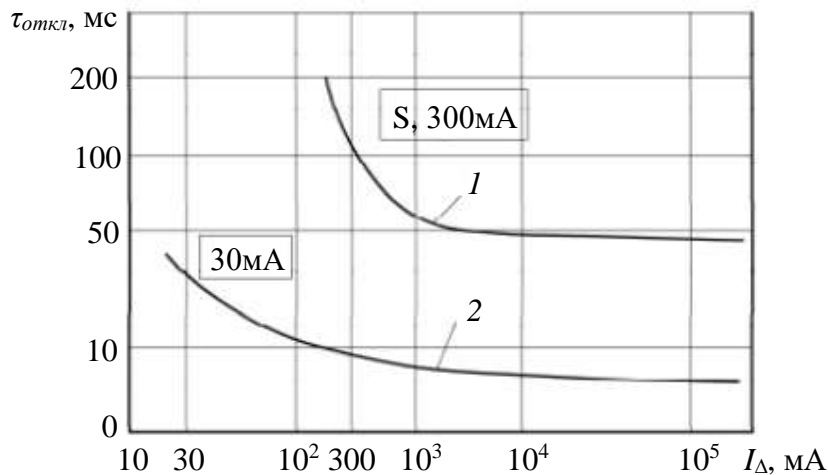


Рисунок 37 – Времятоковые характеристики УЗО:  
1 – типа S; 2 – типа AC

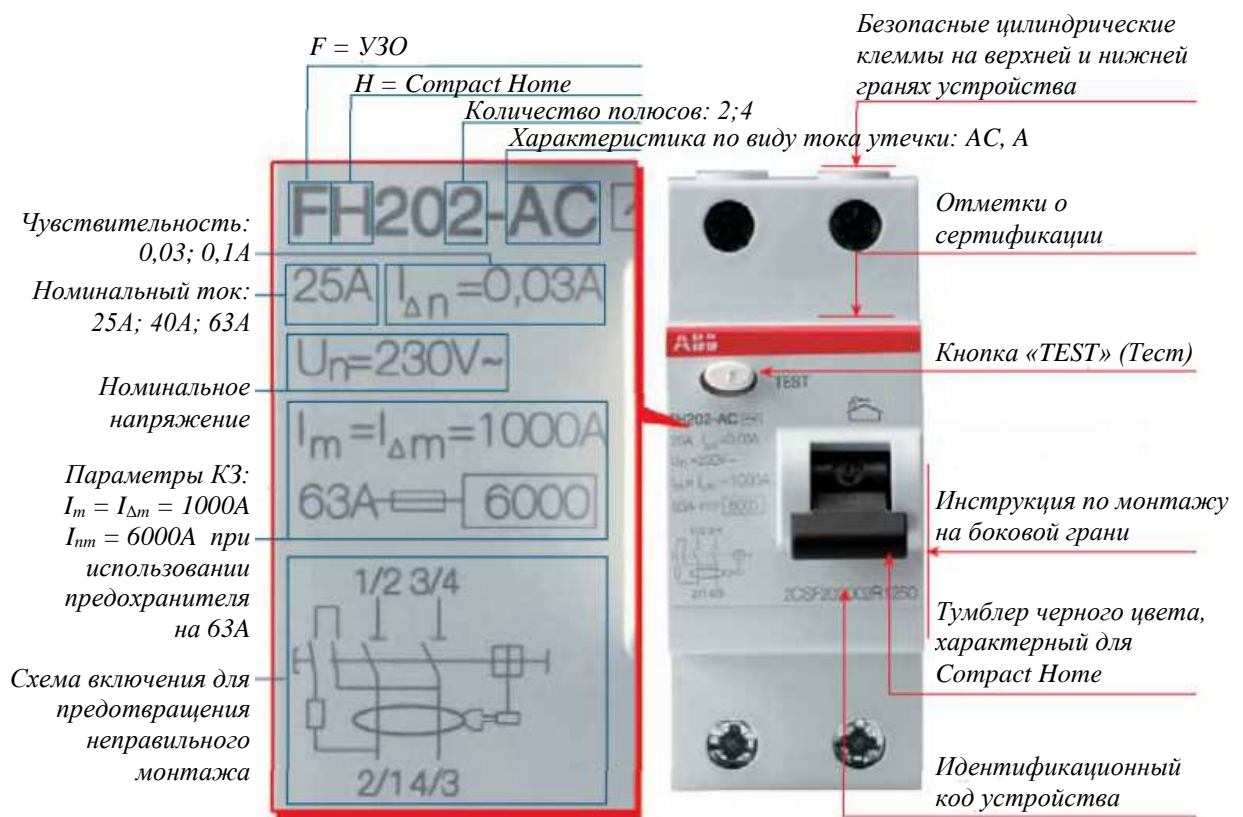


Рисунок 38 – Маркировка УЗО (пример)

Для обеспечения пожарной безопасности электроустановок обязательно требуется совместное использование УЗО и автоматических выключателей. Автоматические выключатели должны быстрее среагировать на ток короткого замыкания, тем самым предохранив УЗО от перегрева.

Значительную опасность для перегрева УЗО представляют и токи перегрузки. Так, например, если значение тока перегрузки едва дотягивает до значения тока срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя, время срабатывания может растянуться до 60 мин, что неизбежно вызовет перегрев УЗО. Поэтому обоснованно выбирать УЗО с увеличенным номинальным током по отношению к автоматическому выключателю. Что касается АВДТ, то описанный недостаток в нем неустраним, в таких случаях целесообразно использовать не комбинированное устройство, а отдельно: УЗО и автоматический выключатель.

Структура условного обозначения АВДТ представлена на рис. 39.

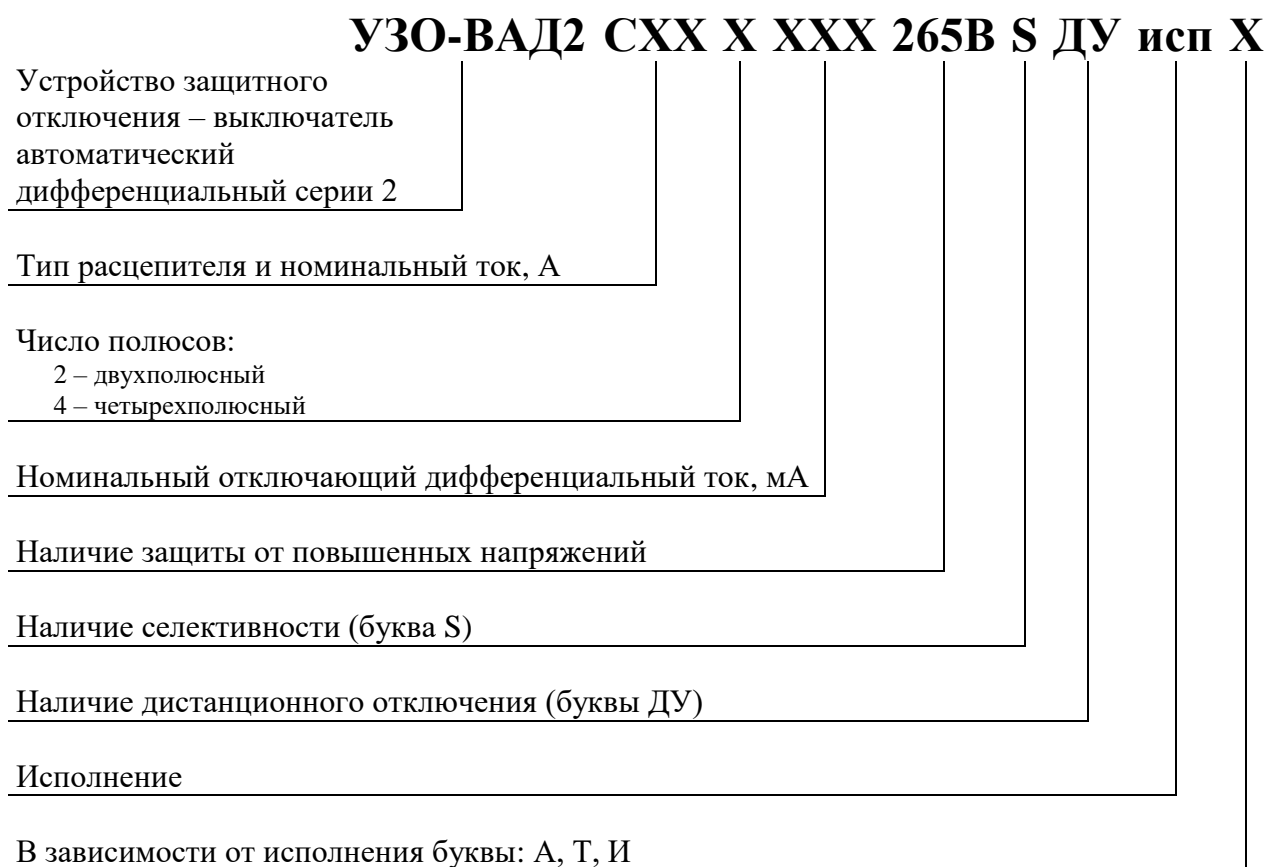


Рисунок 39 – Структура условного обозначения параметров АВДТ (пример)

Выбирая УЗО, необходимо руководствоваться следующими требованиями:

$$U_n \geq U_{сети}, \quad (33)$$

$$I_n > I_{н.уст.} \quad (34)$$

Стандартными значениями номинального тока для УЗО являются: 6; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 400; 630 А.

При совместном использовании в одной сети УЗО и автоматического выключателя необходимо, чтобы номинальный ток УЗО был хотя бы на одну ступень выше номинального тока автоматического выключателя:

$$I_{н.УЗО} > I_{н.авт.}, \quad (35)$$

Автоматический выключатель при этом в схеме должен находиться выше по направлению подачи электроэнергии от УЗО.

Номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$  должен иметь трехкратное превосходство над «фоновым» током утечки защищаемой цепи:

$$I_{\Delta n} > I_{\Delta}, \quad (36)$$

где  $I_{\Delta}$  – фоновый ток утечки, мА.

Под **фоновым током** следует понимать ток естественной утечки, обусловленный свойствами диэлектрической изоляции. Значение фонового тока предопределяется прежде всего длиной проводников и мощностью подключенных к данной сети электроустановок:

$$I_{\Delta} \geq 0,4I_n + 0,01L, \quad (37)$$

или

$$I_{\Delta} \geq 3(0,4I_n + 0,01L), \quad (38)$$

где  $I_n$  – номинальный ток подключений к сети электроустановки, А;

$L$  – длина фазного проводника от места установки УЗО до точки подключения данной электроустановки, м.

При подключении УЗО для нескольких цепей ток утечки должен быть определен по формуле:

$$I_{\Delta} \geq 3(0,4\sum K_n I_n + 0,01\sum K_n L), \quad (39)$$

где  $K_n$  – коэффициент нагрузки, зависящий от количества подключенных на одно УЗО цепей.

Коэффициент нагрузки следует принимать равным: для 2–3 цепей  $K_n=0,9$ , для 4–5 цепей  $K_n=0,8$ , для 6–7 цепей  $K_n=0,7$ , при количестве цепей более 10  $K_n=0,6$ .

Рекомендации по выбору уставки дифференциального тока представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор УЗО по дифференциальному току утечки

Вариант использования УЗО	Дифференциальный ток утечки УЗО, мА, при токе в цепи, А				
	16	25–32	40–50	63	80–100
УЗО подключено для одной электроустановки, мА	10	30	30	30	100
УЗО подключено для группы электроустановок, мА	30	30	300 или 100	100	300
УЗО подключено для обеспечения противопожарной защиты, мА	300	300	300	300	500

Кроме того, при совместном использовании УЗО и автоматического выключателя необходимо, чтобы номинальный ток УЗО был выше, чем ток теплового расцепителя:

$$I_n \geq I_{н.расц. QF} \cdot \quad (40)$$

При этом следует учесть и ток срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя:

$$\begin{aligned} I_{эм. QF} < I_n > I_{КЗ}^3, \\ I_{эм. QF} < I_{\Delta} > I_{КЗ}^3, \end{aligned} \quad (41)$$

где  $I_{КЗ}^3$  – значение трехфазного тока короткого замыкания в месте установки УЗО.

Рекомендации по совместному использованию УЗО и автоматического выключателя представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Номинальные токи УЗО и автоматических выключателей при их совместном использовании

Аппарат защиты	Номинальный ток $I_n$ , А							
	10	16	25	32	40	50	63	80
Автоматический выключатель	10	16	25	32	40	50	63	80
УЗО	16	25	32	40	50	63	80	100

#### 2.3.4. Устройства защиты от дугового пробоя

Устройства защитного отключения признаны эффективными аппаратами, повышающими уровень пожарной безопасности за счёт обнаружения токов утечки и дугового замыкания на землю как результата токов поверхностного разряда в изоляции электроустановок. Вместе с тем УЗО, как и автоматические выключатели и предохранители, не способны исключить возможности загорания электроустановок из-за возникающих электрических дуг между токоведущими частями.

Под **электрической дугой** принято понимать светящийся электрический разряд, распространяемый через диэлектрическую среду и, как правило, сопровождаемый выгоранием электрода (проводника).

Различают два вида дугового замыкания:

- 1) **последовательное** дуговое замыкание, возникающее между токоведущими частями;
- 2) **параллельное** дуговое замыкание, возникающее между токоведущей частью и нейтральным (заземленным) проводником.

В момент существования последовательного дугового замыкания УЗО не срабатывает, так как отсутствует утечка на землю. Кроме того, последовательное дуговое замыкание значительно снижает ток нагрузки, что исключает срабатывание предохранителя и автоматического выключателя, так как фактический ток в цепи будет ниже порогового значения, при котором они срабатывают. При возникновении параллельного дугового замыкания срабатывание УЗО и автоматических выключателей возможно лишь при наличии устойчивых множественных дуг – на единичные, быстротечные дуги они не реагируют.

Для обнаружения дугового пробоя и снижения пожарной опасности от электрической дуги путем разъединения цепи применяются **устройства защиты при дуговом пробое** (далее – УЗДП). В зарубежных странах, в частности в США, подобные устройства получили другое название – выключатели дугового пробоя (ВДП).

Принцип работы УЗДП основан на том, что при возникновении дуговых пробоев происходит искажение частоты в сети. Так, в сети с промышленной частотой в 50 Гц появляются гармоники, т.е. частоты высокого спектра, на которые, собственно, УЗДП и реагирует.

УЗДП может быть изготовлено либо в качестве единого устройства, снабженного расцепителем, либо входить в состав другого защитного устройства или иметь встроенное дополнительное защитное устройство (например, АВДТ). Таким образом, УЗДП способно обнаруживать и отключать цепь при:

- параллельном дуговом пробое;
- последовательном дуговом пробое;
- дуговом пробое на землю.

По количеству полюсов УЗДП классифицируют на:

- однополюсные (без коммутации нейтрального проводника);
- двухполюсные (с коммутацией фазного и нейтрального проводника).

С точки зрения пожарной безопасности электроустановок необходимо отдавать предпочтение двухполюсным УЗДП, так как образование дуги с последующим возгоранием возможно и в нулевом рабочем проводнике, например при неравномерной нагрузке по фазам («перекосе» фаз).

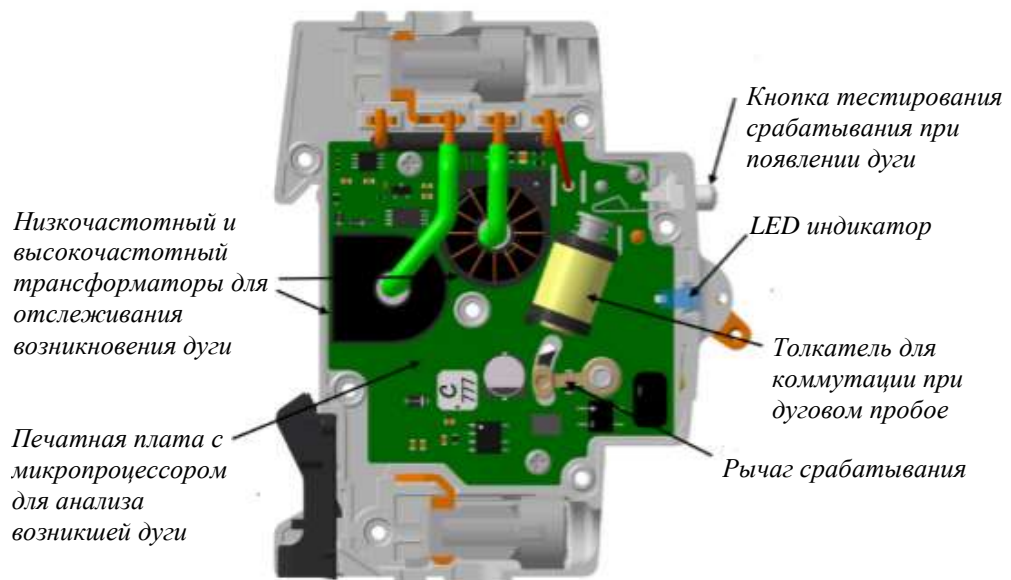
Внешний вид УЗДП и его внутреннее устройство представлены на рис. 40.

В обозримом будущем ожидается также появление трех- и четырехполюсных УЗДП.





*а*



*б*

Рисунок 40 – Устройства защиты от дугового пробоя:  
*а* – внешний вид; *б* – внутреннее устройство

Основные характеристики УЗДП [12]:

- *номинальное рабочее напряжение  $U_n$*  – напряжение УЗДП, при котором оно сохраняет свою работоспособность, для УЗДП может быть установлено несколько значений номинальных напряжений;
- *номинальный ток  $I_n$*  – значение тока, при котором УЗДП может проводить в длительном и непрерывном режиме;

- *номинальная включающая и отключающая способность  $I_m$*  – значение тока, при котором УЗДП способно нормально функционировать, отключать и включать защищаемую электрическую цепь. Причем, минимальное значение включающей и отключающей способности должно быть не менее  $10I_n$ ;
- *номинальная частота  $f$*  – частота, при которой УЗДП сохраняет свои рабочие характеристики. Для УЗДП может быть установлено несколько значений номинальных частот.

Если УЗДП применяется как отдельное устройство, то оно должно быть обязательно защищено от токов короткого замыкания. Для этого является обязательным совместное использование УЗДП и автоматического выключателя (или АВДТ).

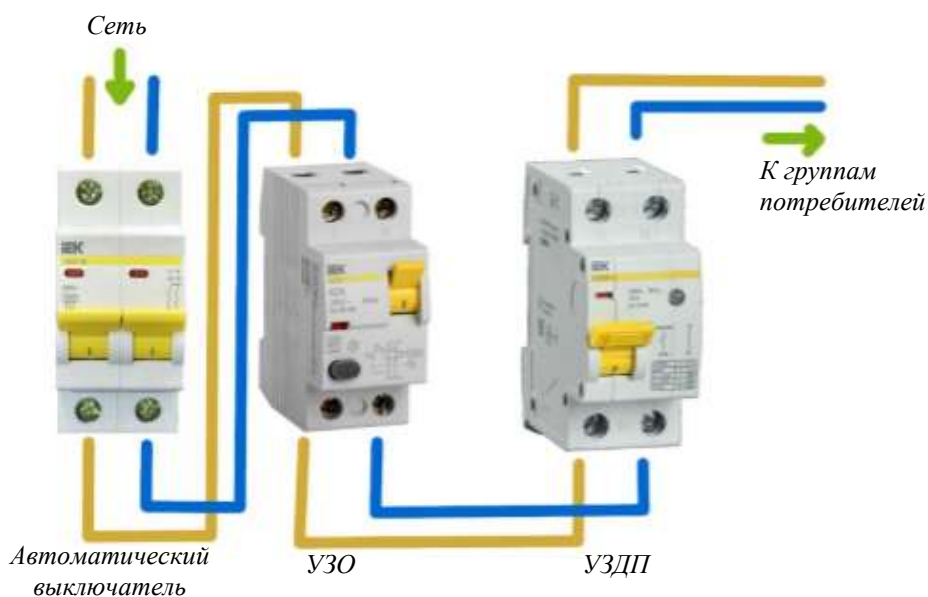


Рисунок 41 – Схема совместного использования УЗДП с другими аппаратами защиты

Обязательная установка УЗДП требуется в зданиях, отнесенных к категории «значительного», «высокого» и «чрезвычайно высокого» пожарного риска, в т.ч. [24]:

- 1) новые жилые многоквартирные дома;
- 2) жилые многоквартирные дома, имеющие электропроводку, выполненную из кабелей и проводов с алюминиевыми жилами;

- 3) здания образовательных учреждений, в том числе детских (детские сады, школы, колледжи, вузы и т.д.);
- 4) здания с маломобильными группами людей (дома инвалидов, престарелых, больницы);
- 5) здания культурно-просветительных и зрелищных учреждений (библиотеки, музеи, театры, кинотеатры, клубы и т.д.);
- 6) здания организаций, связанных с обслуживанием населения (торговые центры, поликлиники, вокзалы);
- 7) производственные здания и помещения категории А (повышенной взрывопожароопасности);
- 8) объекты хранения (складские помещения с пожароопасной продукцией).

При этом УЗДП не следует устанавливать там, где отключение электроэнергии вызовет угрозу для жизни и здоровья людей, к примеру, в цепях питания пожарной сигнализации или системы оповещения при пожаре.

### **2.3.5. Устройства защиты от перенапряжений**

Перенапряжения, возникающие в электрических сетях, представляют серьезную пожарную опасность для электроустановок. Перенапряжения в электрических сетях могут иметь различную природу происхождения, поэтому в зависимости от причин, вызвавших данное явление, перенапряжения следует классифицировать на:

- **грозовые** – вызванные воздействием ударов грозовых разрядов в линии электропередач. Грозовое перенапряжение характеризуется малым временем существования (не более 10 мс), но при этом крайне высоким значением величины электрического разряда, способного нарушить любую изоляцию электроустановок;
- **индуцированные** – вызванные косвенным воздействием грозовых разрядов, заключающимся в образовании мощного электромагнитного

импульса, наводящего на токоведущих частях электроустановок электродвижущую силу, что в результате также вызывает скачок напряжения;

- **коммутационные** – вызванные образование переходных процессов в электрических сетях. Коммутационные перенапряжения могут возникать, например, при резком отключении большой электрической нагрузки в сети или, наоборот, включении мощных электродвигателей или силовых трансформаторов. Кроме того, явления перенапряжений могут происходить в моменты переключений на электрических подстанциях;
- **техногенные** – вызванные заносом высокого потенциала на токоведущие части от стороннего источника, например, обрывом проводов высоковольтных воздушных линий или контактных проводов городского электротранспорта и последующее их попадание на низковольтные линии передач.

Значение перенапряжения, возникающее в электрических сетях, предопределяется такими факторами, как ток молнии, расстояние до точки удара, высота проводов воздушной линии до земли. Для индуцированных перенапряжений это значение может быть определено по формуле:

$$U_{II} \geq 30 \left( \frac{H}{d} \right) I_{\text{молн.}}, \quad (42)$$

где  $I_{\text{молн.}}$  – ток молнии, кА;

$H$  – высота проводов от земли, м;

$d$  – расстояние до точки удара молнии, м.

Рабочая и дополнительная изоляции электроустановок рассчитываются исходя из нормальных параметров работы в сети, т.е. подбираются под значение рабочего напряжения. В этой связи пожарная опасность перенапряжений приводит к следующим последствиям:

1. Повышение вероятности пробоя электрической изоляции с последующим коротким замыканием.

2. Повышение тепловыделения в электронагревательных устройствах.

3. Возникновение токовой перегрузки на некоторых участках электрической сети.

4. Нарушение работоспособности электроустановок потребителей I-й и особой категории.

Для защиты электрооборудования и электрических сетей могут применяться различные устройства. Одним из самых простых в конструктивном отношении устройств является **электрический разрядник** (рис. 42, а).

Принцип действия разрядников основан на работе искрового промежутка, один конец которого подключается к фазному проводу линии, а другой заземляется. В момент образования перенапряжений в зазоре искрового разрядника воздух теряет свои диэлектрические свойства и разряд «уходит» в землю. Несмотря на простоту и надежность своей конструкции, разрядники обладают рядом недостатков: высокое пробивное напряжение, постепенное ухудшение и без того плохой защитной характеристики, невозможность тонкой настройки для исключения срабатывания при коммутационных перенапряжениях.

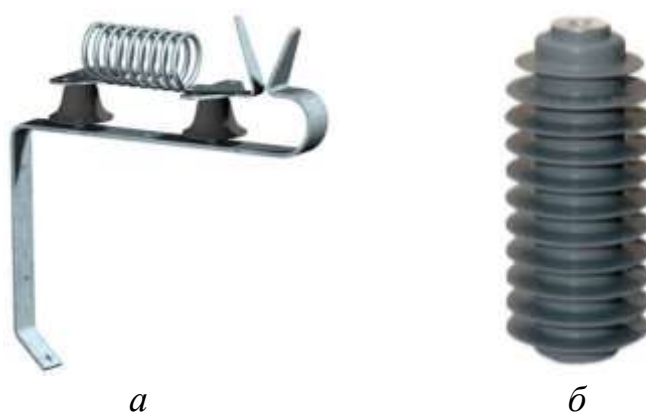


Рисунок 42 – Аппараты защиты от перенапряжений в воздушных линиях: а – вентильный разрядник; б – ограничитель перенапряжения нелинейный

В настоящий момент разрядники, отработавшие свой нормативный срок, все чаще заменяют на более совершенные устройства – **нелинейные**

**ограничители перенапряжений** (рис. 42, б) (далее – ОПН), представляющие собой набор последовательно соединенных полупроводниковых варисторов.

В основе работы ОПН лежит принцип изменения проводимости варистора в зависимости от приложенного к нему напряжения. В моменты возникновения перенапряжения происходит резкое снижение электрического сопротивления в варисторе, а после прохождения разряда характеристики варистора восстанавливаются до первоначальных. По сравнению с разрядниками ОПН обладают рядом достоинств: хорошая защитная характеристика, обусловленная ее нелинейностью, стабильность работы и заданных параметров, возможность точной настройки, лучшая защищенность от внешних воздействий, например загрязнений.

Для дополнительной защиты потребителей напряжением до 1000 В весьма перспективным является использование **устройств защиты от импульсных перенапряжений** (далее – УЗИП). Под **импульсным напряжением** следует понимать кратковременное или переходное напряжение, возникающее в электрической сети от импульса тока, вызванного атмосферным разрядом молнии, индукцией, коммутацией или удаленным коротким замыканием в сети.

При этом УЗИП – это устройство, содержащее не менее одного нелинейного компонента и предназначенное для ограничения переходного перенапряжения и отведения импульса тока (рис. 43).



Рисунок 43 – Внешний вид устройств защиты от импульсных перенапряжений

В основе принципа работы УЗИП так же, как и у ОПН, лежит применение нелинейных полупроводниковых элементов – варисторов, защитных диодов. Такие УЗИП называют **ограничивающими**. В нормальном режиме работы, когда в питающей сети напряжение составляет 220 (однофазных) или 380 В (трехфазных потребителей), варистор УЗИП обладает очень высоким сопротивлением (до нескольких МОм), а в момент проявления импульсного перенапряжения сопротивление УЗИП мгновенно снижается – вплоть до нулевого значения. В результате УЗИП снижает возникшее перенапряжение или создает в сети замыкание (короткое или на землю), что неизбежно вызывает срабатывание других аппаратов защиты, например, автоматического выключателя. Встречаются также УЗИП, принцип действия которых аналогичен разрядникам, т.е. снижение перенапряжения происходит за счет срабатывания искровых промежутков или газоразрядных трубок. Такие УЗИП называют еще **коммутационными**. Популярностью пользуются и УЗИП **комбинированного** действия, у которых применяются элементы как ограничивающего, так и коммутационного типов, причем срабатывание каждого элемента происходит в зависимости от приложенного напряжения. Комбинированные УЗИП отличаются лучшей надежностью и устойчивостью.

В зависимости от предназначения и параметров испытаний УЗИП классифицируют на три класса:

- **УЗИП 1-го класса** – обеспечивает защиту от перенапряжений, образовавшихся в результате прямого удара молнии. Такие УЗИП устанавливаются на объектах в непосредственной близости от молниеотвода и выдерживают перенапряжение до 4 кВ.
- **УЗИП 2-го класса** – обеспечивает защиту от перенапряжений, образовавшихся в результате индукции или коммутации. Такие УЗИП устанавливаются в распределительных щитах сети электроснабжения потребителей и выдерживают перенапряжение от 1,3 до 2,5 кВ.

- **УЗИП 3-го класса** – обеспечивает защиту потребителей после срабатывания УЗИП 1-го и 2-го классов от остаточных перенапряжений. Также УЗИП 3-го класса обеспечивают защиту электронного, сетевого и компьютерного оборудования от наведенных перенапряжений. Такие УЗИП устанавливаются в непосредственной близости от портов электронной аппаратуры и выдерживают перенапряжение от 0,8 до 1,5 кВ.

Обязательное использование УЗИП потребуется в следующих случаях:

- 1) электроустановки расположены во взрывоопасных или пожароопасных помещениях, при этом питание получают от воздушных линий (при любом числе грозовых дней в году);
- 2) электроустановки расположены в местности с числом грозовых дней более 25, при этом питание получают через воздушные линии или наружные электропроводки.

Однако нужно заметить, что и для электроустановок, получающих питание посредством кабельных линий, также рекомендуется применение УЗИП, особенно в следующих случаях:

- 1) при близком размещении устройств молниезащиты от электроустановок;
- 2) кабель имеет воздушные участки при прокладке;
- 3) несколько зданий получают питание от одного источника и имеют при этом общее заземляющее устройство;
- 4) высокий риск прямого удара молнии в здание из-за его большой высоты или выступающих металлических элементов из него (например, антенн, труб и т.п.).

УЗИП характеризуются основными рабочими параметрами [19]:

- $U_n$  – номинальное напряжение сети, к которой подключается УЗИП;
- $U_c$  – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, которое может быть длительно приложено к выводам УЗИП;



- $I_n$  – номинальный импульсный разрядный ток, или пиковый ток, выдерживаемый УЗИП при многократном прохождении;
- $I_{max}$  – максимальный импульсный разрядный ток, выдерживаемый УЗИП при однократном прохождении;
- $U_p$  – уровень напряжения защиты или значение максимального падения напряжения на УЗИП при прохождении через него импульсного тока;
- $U_{res}$  – остающееся напряжение или пиковое напряжение, возникающее на выводах УЗИП при прохождении через него разрядного тока;
- $t$  – время срабатывания (для ограничивающего типа, как правило, не более 25 нс, для коммутационного – до нескольких мкс).

Характеристики УЗИП указываются на фронтальной стороне его корпуса (рис. 44) и в паспорте на техническое изделие.



Рисунок 44 – Обозначение параметров УЗИП

При выборе УЗИП прежде всего следует учесть наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение:

$$U_c \geq 1,1 \left( \frac{U_l}{\sqrt{3}} \right), \quad (43)$$

где  $U_l$  – линейное напряжение в сети, В.

Максимальное длительно рабочее напряжение УЗИП должно быть согласовано с возможным временным перенапряжением.

Предпочтительным являются следующие уровни напряжения защиты: 0,08; 0,09; 0,10; 0,12; 0,15; 0,22; 0,33; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 и 10 кВ в зависимости от категории перенапряжения и номинального напряжения защищаемого оборудования [19]. Следует учесть что, выбирая УЗИП с меньшим значением напряжения, появляется риск выхода его из строя из-за возникшего перенапряжения. В этом случае потребуется дополнительная защита электрооборудования от перенапряжений за счет применения других устройств, например, реле контроля напряжения или реле контроля фаз с функцией управления контактором.

Выбирая УЗИП необходимо учесть и место его установки. Рекомендуется устанавливать УЗИП в непосредственной близости от защищаемого оборудования, так как при значительном удалении места установки может проявиться эффект отражения волн перенапряжения от концов провода или кабеля, что вызовет за собой увеличение перенапряжения.

Допустимое расстояние для установки УЗИП можно определить из формулы:

$$U_{н.обор} = U_{res} + \frac{2SL}{v}, \quad (44)$$

где  $U_{н.обор}$  – напряжение на защищаемом оборудовании, кВ;

$U_{res}$  – остающиеся напряжение на УЗИП, кВ;

$S$  – крутизна фронта волны напряжения, кВ/мкс;

$L$  – расстояние между оборудованием и УЗИП, м;

$V$  – скорость распространения волны перенапряжения (для кабельных линий принимать равным 150 м/мкс, в воздушных линиях электропередачи – 300 м/мкс).

Оптимально, когда УЗИП расположено непосредственно на питающих контактах защищаемого оборудования или хотя бы располагается от него не дальше 3–6 м.

УЗИП должно включаться между фазным проводником (или проводниками) и нулевым рабочим или нулевым защитным проводником. Возможная схема подключения УЗИП представлена на рис. 45.

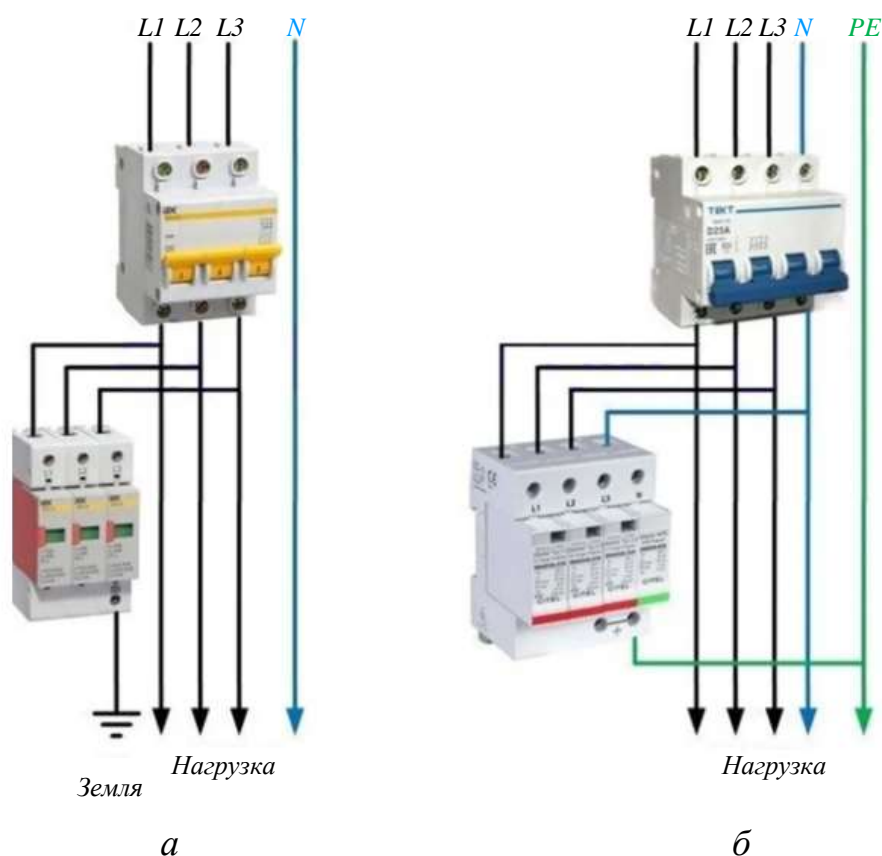


Рисунок 45 – Схема подключения УЗИП в трехфазную цепь совместно с автоматическим выключателем:

*а* – между фазными проводниками и землей; *б* – между фазными, нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками

Следует учитывать тот факт, что в случае выхода из строя УЗИП возможно возникновение короткого замыкания между проводниками и, в результате, неисправность защищаемой электроустановки или даже пожар.

Встроенная в УЗИП тепловая защита реагирует только на перегрев варистора и срабатывает, как правило, либо при его старении, либо при превышении импульсного тока над максимально допустимым. И в том, и в другом случае УЗИП отключится, либо разрушится от выделения большого количества тепловой энергии. Опыт эксплуатации УЗИП показал, что применение только лишь автоматических выключателей для защиты УЗИП от токов короткого замыкания может быть недостаточным, поскольку сами автоматические выключатели могут быть повреждены импульсом тока, возникающим при грозовом разряде. Это может вызвать пригорание или даже приваривание контактов автоматического выключателя с последующим его отказом в срабатывании. Для исключения отказа аппаратов защиты рекомендуется при подключении УЗИП использовать плавкие предохранители. Возможные схемы подключения УЗИП представлены в приложении К.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие категории электроприемников вы знаете? Поясните значение категорирования надежности электроприемников для обеспечения пожарной безопасности объектов.
2. Объясните отличие провода от кабеля.
3. Расшифрует следующие марки проводов и кабелей: ППВ; АППВ, ПВС, КГ, АВРБ, ВВГ, АВВГ, ВРНБ, ААГЦАСБ, КГЭ, АОСБ, АСБнлШнг, АВВГнг, ППГнг-НФ, АПвБбШп, ААБнлГ, АВБбШнг.
4. Как по маркировке кабеля можно выявить сечение и количество его токоведущих жил?
5. Есть ли преимущество кабельных линий перед воздушными?

6. Как осуществляется тепловой расчет электрической сети?
7. Чем опасна длительная и кратковременная перегрузка проводов и кабелей?
8. Назовите классификацию аппаратов защиты электроустановок от аварийных режимов. Укажите аварийные режимы, для которых данные аппараты защиты предназначены.
9. Существует ли взаимозаменяемость между аппаратами защиты?
10. Объясните роль УЗО в обеспечении пожарной безопасности.
11. Следует ли полностью отказываться от применения плавких предохранителей?
12. Опишите алгоритм выбора автоматического выключателя.
13. Назовите последствия выбора автоматического выключателя с неправильным током срабатывания расцепителей.
14. Когда требуется защита от перенапряжений в сети?
15. Могут ли УЗО и УЗДП полностью заменить автоматический выключатель?
16. Объясните принцип работы УЗДП.
17. В каких сетях невозможно применение УЗО?
18. Какие условия необходимо соблюдать при совместном подключении автоматического выключателя и УЗО?
19. Что такое «селективностью» аппаратов защиты и какую роль она играет в обеспечении пожарной безопасности?

### 3. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИЛОВЫХ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

#### 3.1. Пожарная безопасность электродвигателей

**Электродвигатель** – это электрическая машина, преобразующая электрическую энергию в механическую путем вращения ротора двигателя. К вращающемуся валу электродвигателя могут быть подключены самые разнообразные приводы (например, насосы, компрессоры, вентиляторы, задвижки и т.д.). Такая механическая связка делает зависимым режим работы электродвигателя, в том числе увеличивает его пожарную опасность в зависимости от режима работы подключенного к нему привода. Крутящий момент на валу электродвигателя предопределяет потребляемый электродвигателем рабочий ток. При значительном увеличении нагрузки на валу неизбежно возникает режим перегрузки электродвигателя, что в результате вызывает перегрев и старение изоляции его обмотки. Полная остановка вала из-за чрезмерной нагрузки у включенного электродвигателя вызывает режим, близкий к короткому замыканию.

Электродвигатели в зависимости от рода потребляемого тока следует классифицировать на электродвигатели *переменного* и *постоянного тока*. Электродвигатели переменного тока, в свою очередь, классифицируются на *синхронные* и *асинхронные*. В технологических процессах нефтяной, газовой, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, сопряженных с образованием взрывоопасных зон, чаще находят применение асинхронные электродвигатели, а также широко они применяются в подъемных сооружениях и в производстве бытовой техники. Высокая распространенность асинхронных электродвигателей объясняется их надежностью, простотой конструкции и эксплуатации.

Синхронные электродвигатели получили применение там, где необходимо обеспечить постоянство частоты вращения (например, в

мельницах, смесителях, грануляторах, насосах, компрессорах и т.д.). Как правило, целесообразность применения синхронных электродвигателей появляется при необходимости использования больших мощностей (более 100 кВт) и моментов.

Машины постоянного тока используются в тех областях, где существует необходимость широкого и плавного регулирования частоты вращения (например, в транспортных агрегатах или управляющих механизмах).

Среди асинхронных электродвигателей в настоящее время чаще встречаются серии АИР и 5А. Обозначение маркировки электродвигателя позволяет установить его потребляемую мощность, защищенность, возможность использования во взрывоопасных зонах и т.д. На рис. 46 представлена структура обозначения электродвигателя.

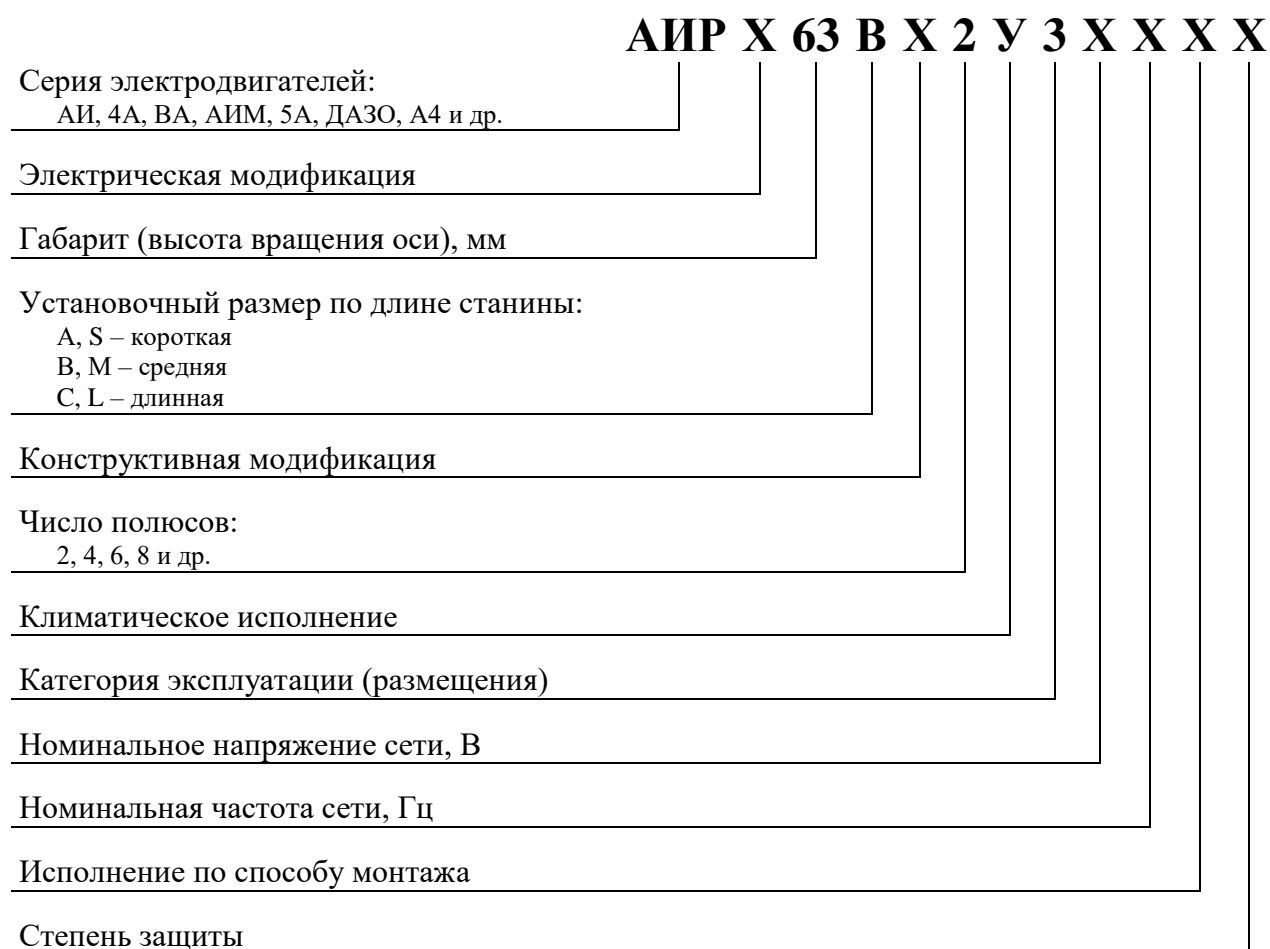


Рисунок 46 – Маркировка асинхронного электродвигателя

Для обеспечения пожарной безопасности или при проведении пожарно-технической экспертизы проектов важно установить соответствие выбранного электродвигателя характеру нагрузок привода, потребляемого рабочего тока сечению питающего провода или кабеля, а также степень защиты и условия эксплуатации электродвигателя.

Возможные степени защиты электродвигателей представлены в таблице 12 [44].

Таблица 12 – Степени защиты корпуса электродвигателя

Исполнение электродвигателя (аппарата)	Степени защиты корпуса электродвигателя
Открытое	IP00
Защищенное	IP10, IP20, IP30, IP40, IP11, IP21, IP31, IP41, IP12, IP22, IP32, IP42, IP13, IP23, IP33, IP43, IP34, IP44
Брызгозащищенное	IP34, IP44, IP54
Каплезащищенное	IP01, IP11, IP21, IP31, IP41, IP51, IP12, IP22, IP32, IP42, IP13, IP23, IP33, IP43
Закрытое	IP54, IP55 и др.
Обдуваемое	IP54 (с обдувом)
Продуваемое	IP34, IP44, IP54 (с устройством для охлаждения)
Пылезащищенное	IP50, IP51, IP54, IP55, IP56, IP65, IP66, IP67, IP68
Водозащищенное	IP55, IP65, IP56, IP66

Электродвигатели, размещаемые во взрывоопасных зонах, обязательно должны иметь взрывозащищенное исполнение, выполненное через взрывонепроницаемую оболочку (защита типа «**d**»), продувку под избыточным давлением инертным газом (защита типа «**p**») или повышенную надежность против взрыва (защита вида «**e**»). Наибольшее распространение получили электродвигатели с взрывонепроницаемой оболочкой. Взрывозащитные свойства таких электродвигателей реализуются посредством следующих трех факторов:

- 1) **взрывонепроницаемость;**
- 2) **взрывоустойчивость;**
- 3) **температурный режим оболочки.**



**Взрывонепроницаемость** происходит за счет создания в местах сочленения электродвигателя очень мелких взрывонепроницаемых зазоров (рис. 47) [44].

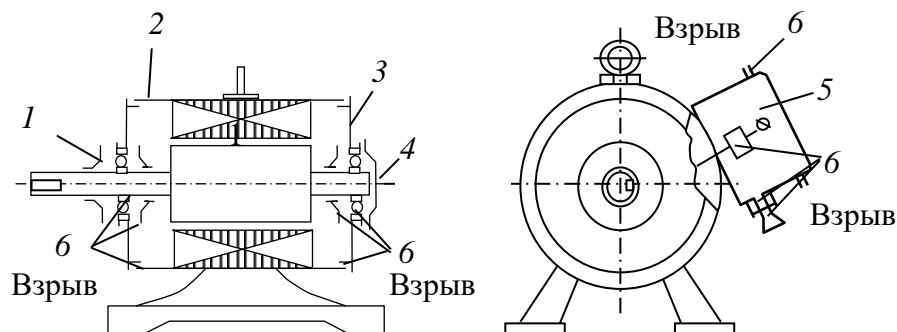


Рисунок 47 – Устройство взрывозащищенного электродвигателя:  
1, 4 – крышки подшипника; 2 – корпус электродвигателя;  
3 – подшипниковый щит; 5 – вводная коробка;  
6 – взрывонепроницаемые зазоры, обозначаемые словом «взрыв»

Минимальные взрывонепроницаемые зазоры прежде всего должны быть в присоединительной (вводной) коробке и в подшипниковом щите (между валом двигателя и корпусом).

**Взрывоустойчивость** электродвигателя достигается за счет высокой механической прочности корпуса, а также крышки, вводной коробки и подшипниковых щитов. Все обозначенные части электродвигателя, включая крепежные элементы, еще на заводе-изготовителе подвергаются гидравлическим испытаниям, пробное давление при которых составляет полутора кратное значение от давления, возникающего при воспламенении взрывоопасной смеси.

**Температурный режим оболочки** электродвигателя состоит в исключении нагрева корпуса и токоведущих частей до температуры самовоспламенения смеси, в среде которой данный электродвигатель эксплуатируется. Причем, если электродвигатель работает в условиях, где образуется взрывоопасная пыль, то температура нагрева его частей должна быть на 50 °С ниже температуры тления пыли.

Популярны и электродвигатели, у которых взрывозащита обеспечивается продувкой оболочки защитным газом. При этом защитный газ (воздух или азот) находится в оболочке электродвигателя под избыточным давлением, что препятствует попаданию в корпус взрывоопасной среды (рис. 48).

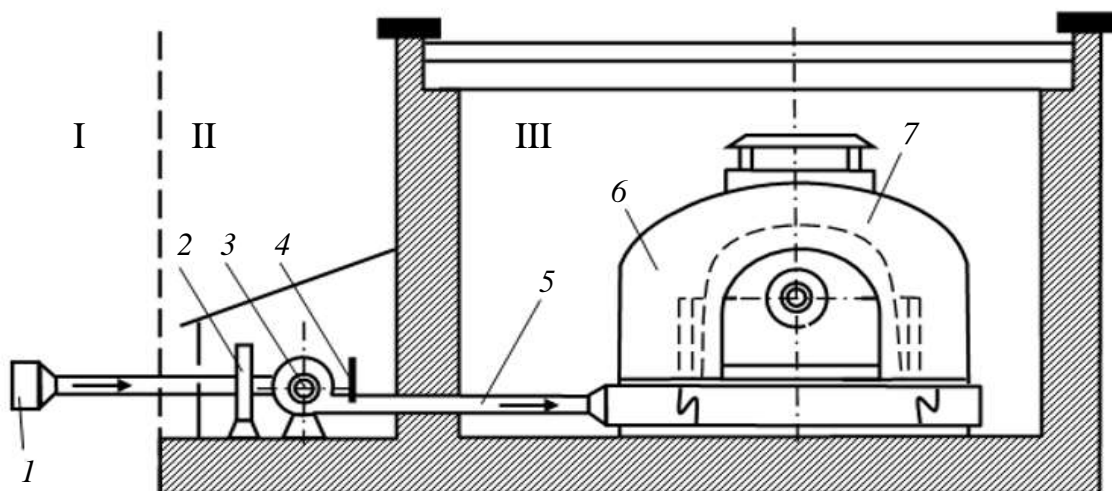


Рисунок 48 – Схема взрывозащищенного электродвигателя с продувкой защитным газом:

- I – пространство в невзрывоопасной зоне, из которого забирается атмосферный воздух для применения в качестве защитного газа;  
 II – невзрывоопасная зона; III – взрывоопасная зона;  
 1 – фильтр; 2 – нагреватель;  
 3 – вентилятор подачи защитного газа;  
 4 – заслонка для регулирования количества защитного газа;  
 5 – выходящий газопровод; 6 – электродвигатель; 7 – продувочный клапан

Такие электродвигатели имеют блокировки, исключающие его запуск при недостаточном давлении внутри корпуса и включающие его только после предпусковой продувки. Электродвигатели с внутренней продувкой газа являются крупногабаритными и, как правило, находят применение в насосных и компрессорных станциях, размещенных во взрывоопасных зонах.

Повышенная надежность против взрыва у электродвигателей реализуется прежде всего путем применения специальных высококачественных изоляционных материалов обмоток, например, слюдинит, микафоллий, микалент, стеклоткань и др. Кроме того, электродвигатели с данным типом взрывозащиты снабжены специальными

устройствами, противостоящими вибрации и ударам. В процессе эксплуатации электродвигателей следует исключать появление различных аварийных (пожароопасных) режимов его работы. Под аварийным режимом следует понимать такой режим, при котором наблюдается нагрев частей электродвигателя выше допустимого значения.

К таким режимам относятся:

- снижение или повышение напряжения на обмотках электродвигателя;
- увеличение нагрузки на валу;
- неполнофазный режим (обрыв одной из фаз);
- межвитковое замыкание или замыкание на корпус;
- ухудшение вентиляции или продувки;
- увлажнение обмоток изоляции;
- увеличенная частота включений.

Для защиты электродвигателя от различных аварийных режимов следует, прежде всего, использовать аппараты защиты от сверхтоков. Кроме того, может потребоваться дополнительная тепловая защита в виде тепловых реле, пазисторов (датчиков температуры в обмотке), а также устройств защиты от неполнофазного режима. Также важно учитывать условия эксплуатации электродвигателя. Для механизмов и машин, требующих частого запуска, должны подбираться электродвигатели соответствующего исполнения.

### **3.2. Пожарная безопасность трансформаторов**

Как известно, электроснабжение зданий, предприятий, учреждений, а также отдельных промышленных электроустановок осуществляется от трансформаторных подстанций, включающих в себя один или несколько **силовых трансформаторов** и распределительных устройств. Силовые трансформаторы в зависимости от функционального назначения и конструктивного исполнения имеют весьма обширную классификацию.

Прежде всего, следует различать трансформаторы повышающие и понижающие. Повышающие (иногда их называют повысительные) применяются на трансформаторных подстанциях электрических станций, вырабатывающих электроэнергию. Для снижения потерь электроэнергии в линиях при ее передаче повысительные подстанции повышают напряжение до значений 110 кВ и выше, в зависимости от длины линии. У потребителей электроэнергии посредством понижающих подстанций осуществляется уже обратный процесс – снижение напряжения до требуемых значений (чаще всего 0,4 кВ, некоторые промышленные электроустановки требуют 6 или 10 кВ). В зависимости от конструкции системы охлаждения следует различать:

- **трансформаторы сухие** – охлаждение осуществляется циркуляцией воздуха;
- **трансформаторы масляные** – охлаждение осуществляется посредством трансформаторного масла, одновременно играющего роль и изоляционного материала.

Для обеспечения пожарной безопасности трансформаторов следует сопоставлять мощность подключенных потребителей и мощность трансформатора, условия эксплуатации и исполнение, а также возможную перегрузку трансформатора.

При возникновении аварийных режимов в сетях и необходимости осуществления бесперебойного электроснабжения для ответственных групп потребителей (I-й или особой категорий) допускается кратковременная перегрузка трансформаторов. В таблице 13 представлены показатели допустимой перегрузки силовых трансформаторов.

Таблица 13 – Допустимая перегрузка силовых трансформаторов

Сухие трансформаторы					
Перегрузка по току, %	20	3	40	50	60
Длительность перегрузки, мин	60	45	32	18	5
Масляные трансформаторы					
Перегрузка по току, %	30	45	60	75	100
Длительность перегрузки, мин	120	80	45	20	10

Работа силового трансформатора даже в нормальном неаварийном режиме предполагает неизбежный нагрев его обмоток, корпуса, токоведущих частей и трансформаторного масла (для масляных трансформаторов). Следует помнить, что трансформаторное масло является горючей жидкостью с температурой вспышки 135 °С, поэтому эксплуатация масляных силовых трансформаторов требует постоянного контроля температуры верхних слоев масла. Так, например, для трансформаторов, у которых применяется система масляного охлаждения с принудительной циркуляцией масла через водоохладитель, температура верхних слоев должна быть не более 70 °С, а у трансформаторов с обычным масляным охлаждением – не более 95 °С.

Трансформаторы, снабженные циркуляционным масляным охлаждением, должны иметь блокировку, исключающую его работу при отсутствии циркуляции. При этом очень важно следить за уровнем трансформаторного масла (по индикатору) – он должен находиться на отметке, соответствующей температуре масла трансформатора в данный момент. При появлении короткого замыкания в обмотке масляного трансформатора возникающая электрическая дуга воздействует на трансформаторное масло, разлагая его, что в результате приводит к образованию газов, давление которых способно разрушить корпус трансформатора. Для защиты трансформатора от такого аварийного режима на его крышку устанавливают предохранительные клапаны (рис. 49).

Эксплуатация трансформаторов при неисправных предохранительных клапанах, системах охлаждения (в том числе воздушного), а также при утечке масла и выбросе масла из расширительного бачка не допускается.

Во взрывоопасных зонах трансформаторы должны иметь взрывозащиту: типа «о» – для масляных трансформаторов; типа «d» и типа «e» – для сухих трансформаторов.

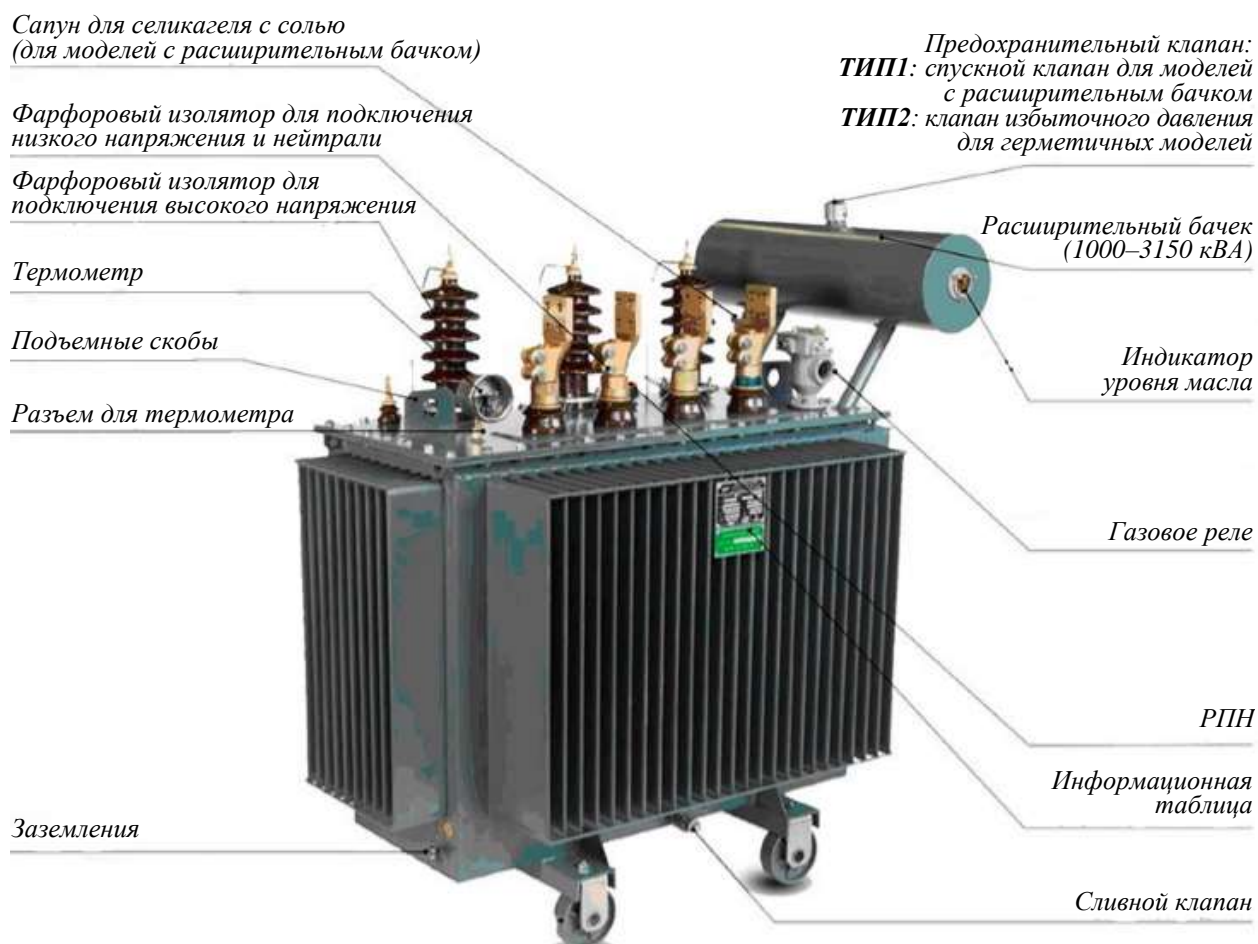


Рисунок 49 – Устройство масляного силового трансформатора (внешний вид)

### 3.3. Пожарная безопасность осветительных устройств

Искусственное электрическое освещение играет важнейшую роль в обеспечении безопасности технологических процессов и производств, а также в нормальной жизнедеятельности человека. В зависимости от предназначения искусственное освещение классифицируют на следующие виды:

- **рабочее** – освещение, необходимое для обеспечения нормальных условий труда и жизнедеятельности людей;
- **эвакуационное** – освещение, необходимое для осуществления эвакуации людей при аварийном отключении рабочего освещения;
- **аварийное (или освещение безопасности)** – освещение, необходимое для безопасного продолжения работы или остановки технологического процесса в случае аварийного отключения рабочего освещения;

- **дежурное (охранное)** – разновидность рабочего освещения, необходимое для использования на территории или открытых площадках в ночное время суток.

На пожаровзрывоопасных объектах нефтегазового комплекса должны применяться все виды освещения. Вместе с тем следует отметить, что оборудование электрического освещения является потенциальным источником зажигания. Для оценки пожарной опасности источников света необходимо рассмотреть их виды (рис. 50). Источники света как отдельный элемент обычно не используются, а входят в состав осветительного оборудования, представленного светильниками или прожекторами. Принципиальное отличие светильников от прожекторов заключается в том, что последние обеспечивает угловую концентрацию светового потока, перераспределяя его внутри малых телесных углов. Прожекторы применяют как правило, для освещения большой территории или площадок.



Рисунок 50 – Виды источников света

Светильники и прожекторы могут заряжаться только тем видом ламп и их мощностью, на который они были рассчитаны. Характеристики светильника указываются на его маркировке (рис. 51).

**X X X XXX - X XX - XXX - XX**

Буква, обозначающая источник света – тип лампы:

- Н – накаливания общего назначения
- Л – прямая трубчатая люминесцентная
- Э – эритемная люминесцентная
- Р – ртутная типа ДРЛ
- Г – ртутная металлогалогенная типа ДРИ, ДРИШ
- Ж – натриевая типа ДНаТ
- Б – бактерицидная
- К – ксеноновая трубчатая
- И – кварцево-галогенная типа КГ

Буква, обозначающая способ установки светильника:

- С – подвесной
- П – потолочный
- В – встраиваемый
- Д – пристраиваемый
- Б – настенный
- Н – настольный, опорный
- Т – напольный, венчающий
- К – консольный
- Р – ручной
- Г – головной

Буква, обозначающая основное назначение светильника:

- П – для промышленных и производственных зданий
- О – для общественных зданий
- Б – для жилых (бытовых) помещений
- У – для наружного освещения
- Р – для рудников и шахт
- Т – для телевизионных студий

Двузначное число (09-99), обозначающее номер серии

Цифра (цифры), обозначающая количество ламп в светильнике

Цифры, обозначающие мощность ламп, Вт

Трехзначная цифра, обозначающая номер модификации

Буква и цифра, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения светильников

Рисунок 51 – Маркировка светильника



Пожарная опасность всех осветительных приборов обусловлена наличием в них источника света, пускорегулирующей аппаратуры (далее – ПРА) и контактных элементов. Так, например, светильники с лампами накаливания отличаются высокими температурами нагрева, как самой лампы, так и корпуса светильника. Это объясняется тем, что лампы накаливания имеют очень низкий КПД и почти вся затрачиваемая электроэнергия в таких лампах преобразуется в тепловую энергию. Любое соприкосновение горючего материала с колбой лампы накаливания неизбежно вызывает его загорание, причем загорание возможно и при несоблюдении требуемых расстояний между горючими веществами или материалами и светильниками. Газоразрядные лампы низкого давления (лампы люминесцентные) и особенно лампы светодиодные выгодно отличаются от ламп накаливания в первую очередь высоким КПД, что обеспечивает относительно невысокие, по сравнению с лампами накаливания, температуры нагрева светильников. Лампы высокого давления, которые, как правило, применяются в прожекторах, также могут иметь высокие температуры нагрева (рис. 52–53) [44].

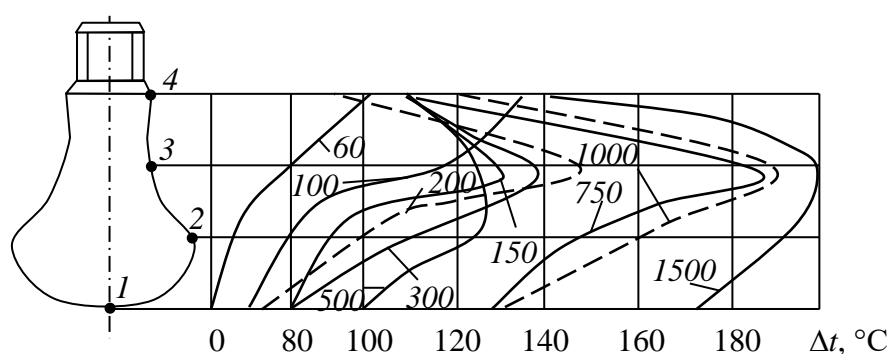


Рисунок 52 – Значение температуры нагрева ламп накаливания (цифры у кривых обозначают мощность лампы, Вт)

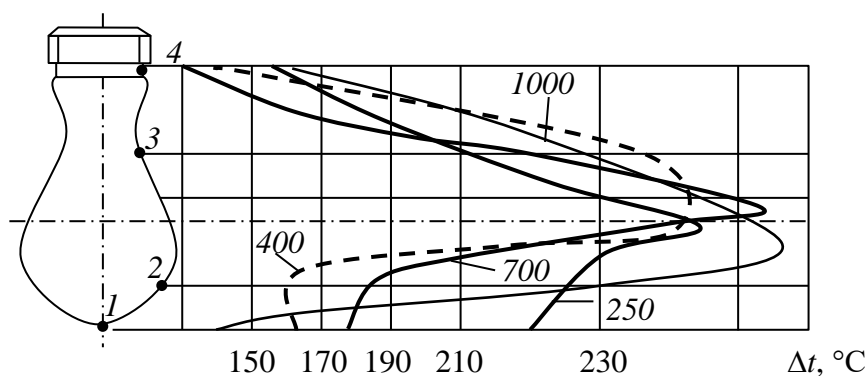


Рисунок 53 – Значение температуры нагрева разрядной лампы высокого давления марки ДРЛ (цифры у кривых обозначают мощность лампы, Вт)

Мощные лампы накаливания, как и разрядные лампы высокого давления, могут прогреваться до температур 195 и 235 °С соответственно. Галогенные лампы – как разновидность ламп накаливания уже могут прогреваться до 450 °С. Лампы люминесцентные имеют нормальную рабочую температуру на поверхности колбы – не более 25 °С, хотя у краев колбы она может достигать и 100 °С. Светодиодные лампы также отличаются «холодностью» – температура их нагрева, как правило, не превышает 60 °С . Следует отметить, что пожарная опасность всех светильников, а особенно с лампами накаливания, ухудшается по мере их загрязнения, например, производственной пылью, что значительно ухудшает теплообмен между светильником и окружающей средой. Чрезмерный нагрев светильника может вызвать в результате нагрев патрона, контактов, ПРА и, как следствие, его возгорание. Возгорания могут возникать и при несоответствии применимой мощности у лампы и параметров светильника.

Однако пожарная опасность светильников обусловлена не только процессами их нагрева. К примеру, у «относительно» холодных люминесцентных ламп уязвимым элементом является дроссельная ПРА, где возможно межвитковое замыкание и перегрев дросселя. ПРА, не имеющая в своем составе дросселя, т.е. так называемая бесстартерная ПРА, тоже не может называться пожаробезопасной из-за наличия в ней электронных компонентов, чувствительных к скачкам напряжения в сети. Кроме того,

материалы корпусов современных светильников, которые часто изготавливаются из горючих материалов: полистирола, поливинилхлорида, полиметилметакрилата – также являются пожароопасными.

Для освещения помещений или открытых площадок со взрывоопасными зонами следует использовать светильники во взрывозащищенном исполнении.

Взрывозащита светильников основывается на применении одного или нескольких видов конструктивного исполнения:

- **повышенная надежность против взрыва** (защита вида «e»);
- **взрывонепроницаемая оболочка** (защита вида «d»);
- **специальный вид взрывозащиты** (защита вида «s»).

У светильников с **повышенной надежностью против взрыва** (рис. 54) взрывозащита обеспечивается усиленной прочностью корпуса, взрывонепроницаемого патрона, защитного стеклянного колпака и уплотняющих резиновых прокладок в месте ввода проводов. Кроме того, у таких светильников поддерживается тепловой режим, т.е. температура его частей не превышает температуру воспламенения взрывоопасных смесей, в среде которых данный светильник эксплуатируется.

Светильники такой конструкции допускается устанавливать в тех зонах, где появление взрывоопасной смеси возможно только в результате аварии. В зонах, где взрывоопасная смесь присутствует постоянно, применять светильники описанной конструкции запрещено. В этих зонах следует использовать светильники со взрывонепроницаемой оболочкой или со специальным видом взрывозащиты.

У **взрывонепроницаемых** светильников все элементы, склонные к нагреванию или искрению, размещаются во взрывонепроницаемой оболочке. Такие типы светильников, как правило, заряжаются светодиодными лампами (рис. 55).



Рисунок 54 – Светильник с повышенной надежностью против взрыва:  
*a* – устройство; *б* – внешний вид;  
 1 – защитная сетка; 2 – взрывонепроницаемый патрон; 3 – отражатель;  
 4 – провод; 5 – штуцер; 6 – корпус;  
 7 – уплотнительное кольцо и сальник; 8 – кольцо;  
 9 – защитный колпак; 10 – лампа накаливания

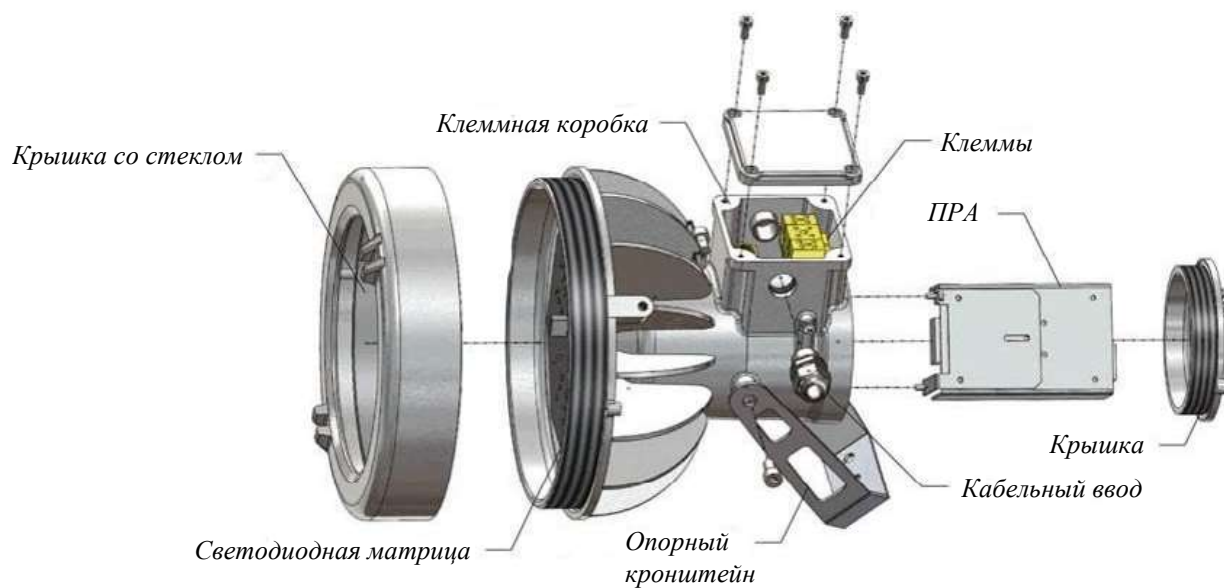


Рисунок 55 – Конструкция взрывонепроницаемого светильника (пример)

Светильники со **специальным видом взрывозащиты** заполняются изнутри инертным газом и имеют блокировки, отключающие такой светильник при разрушении колбы или при падении давления инертного газа в корпусе светильника.

## Контрольные вопросы и задания

1. Как реализуется взрывозащита электродвигателей, трансформаторов и светильников?
2. Установите для каждой взрывоопасной зоны вид взрывозащиты электродвигателя, трансформатора и светильника.
3. Допускается ли использование силовых и осветительных установок без взрывозащиты во взрывоопасных зонах?
4. Что влияет на нагрев корпусов электродвигателей и трансформаторов?
5. Допускается ли перегрузка электродвигателей и трансформаторов?
6. Как падение напряжения на обмотках электродвигателя может спровоцировать его загорание?
7. Чем опасен неполнофазный режим для электродвигателя?
8. Светильники с какими лапами предпочтительны для применения во взрывоопасных и пожароопасных зонах?
9. Какие электродвигатели следует устанавливать в пыльных помещениях?
10. Для чего в масляных трансформаторах применяется горючее трансформаторное масло? Какие явления могут вызвать пожар в трансформаторном масле?
11. Какие аварийные режимы электродвигателей вы знаете?
12. Попробуйте сопоставить аварийные режимы электродвигателей и трансформаторов. Найдите аналогии.
13. Следует ли учитывать недостатки ламп накаливания или полностью от них отказываться?
14. Какие инертные газы применяются для продувки внутри корпусов светильников или электродвигателей?

15. Для каких целей применяется аварийное освещение? Какие типы ламп предпочтительнее использовать в светильниках аварийного освещения?

## 4. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАНУЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

### 4.1. Назначение заземлений и занулений

Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции [3].

**Защитное зануление** в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности [29].

**Заземлением** электроустановок принято называть преднамеренное электрическое соединение, образованное между металлическими нетоковедущими частями электроустановок и заземляющим устройством.

Различают *защитное заземление* – заземление, выполняемое в целях электробезопасности, и *рабочее (функциональное) заземление* – заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

Заземление в обеспечении пожарной безопасности играет важнейшую роль, а именно:

- 1) обеспечивает нормальную работу аппаратов защиты, реагирующих на дифференциальный ток утечки (УЗО, АВДТ);
- 2) обеспечивает работоспособность устройств молниезащиты;
- 3) обеспечивает действие защиты от импульсных перенапряжений;
- 4) обеспечивает функционирование систем защиты от статического электричества;

- 5) исключает возможность образования искр через применение системы уравнивания потенциалов;
- б) создает условия для отвода рабочих токов в землю.

Заземление или зануление применяют во всех случаях при напряжении 380 В (и выше) переменного и 440 В и выше постоянного тока. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных, в наружных установках эти защитные меры применяют при напряжениях выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока.

Заземлять или занулять **необходимо** следующие части электроустановок: корпуса трансформаторов; рамы и приводы выключателей и других коммутационных аппаратов; вторичные обмотки измерительных трансформаторов; каркасы распределительных щитов и щитков, пультов и щитов управления, шкафов с электрооборудованием. Съемные или открывающиеся части щитов и шкафов должны быть занулены отдельным гибким проводником, если на этих частях установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного или 110 В постоянного тока. Зануляют также металлические оболочки и броню кабелей, проводов, металлические кабельные конструкции и муфты, стальные трубы электропроводки, тросы, на которых подвешены провода, кожухи шинопроводов, короба и лотки, арматуру железобетонных опор и проволочные оттяжки любых опор, а также все другие металлоконструкции, связанные с установкой электрооборудования.

ПУЭ **не требуют** заземлять или занулять что-либо в помещениях без повышенной опасности поражения электрическим током, в частности в жилых и общественных помещениях с деревянными или пластиковыми полами, если номинальное напряжение электрооборудования 220 В и ниже. Не требуется также занулять в кухнях, ванных комнатах и туалетах квартир металлические корпуса стационарно установленного осветительного электрооборудования и переносных электроприборов и машин мощностью до 1,3 кВт (стиральные и швейные машины, холодильники, утюги и т.п.) [44].



Заземление **допускается не применять**, если:

- электроустановки работают под малым сверхнизким напряжением (не более 50 В по переменному току и не более 120 В по постоянному току);
- электроустановки снабжены двойной изоляцией;
- электроустановки установлены и надежно закреплены на уже заземленных металлических основаниях.

## **4.2. Системы защитного заземления**

Система **защитного заземления** состоит из следующих основных элементов:

- вертикальных и горизонтальных заземлителей, образующих единый заземляющий контур;
- заземляющих проводников, связывающих контур заземления с главной заземляющей шиной;
- главной заземляющей шины (ГЗШ), располагаемой во вводном распределительном устройстве (далее – ВРУ) и связывающей посредством нулевых защитных проводников, подлежащих заземлению, металлические части электроустановок;
- нулевых защитных проводников, необходимых для образования металлической связи между ГЗШ и всеми требуемыми для заземления металлическими частями электроустановок и зданий.

Для обеспечения нормальной работы аппаратов защиты электроустановок в большинстве случаев необходимо обеспечить защитное зануление путем преднамеренного соединения металлических нетоковедущих частей электроустановок не только с заземляющим контуром, но и с заземлением источника питания (например, трансформатора или генератора). Зануление позволяет в случае пробоя изоляции и возникновении напряжения на металлических нетоковедущих частях вызвать быстрое

срабатывание электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.

Однако такого рода зануление встречается далеко не во всех электрических сетях, поэтому изначально следует различать электроустановки, работающие в сетях с глухозаземленной нейтралью, где такого рода зануление присутствует, и электроустановки, работающие в сетях с изолированной нейтралью, где зануление отсутствует по определению.

Под глухозаземленной нейтралью понимают преднамеренное электрическое соединение **нейтральной** (или **нулевой**) точки трансформатора или генератора с заземляющим контуром. Нейтральная точка трехфазного трансформатора или генератора образуется при соединении их обмоток в схему «звезда». Если применяется соединение обмоток по схеме «треугольник» или по схеме «звезда», но нейтральная точка при этом не выводится, то такую сеть называют сетью с **изолированной** нейтралью.

В нашей стране сети с глухозаземленной нейтралью чаще всего встречаются в электроустановках напряжением до 1000 В и выше 110 кВ. Электроустановки напряжением от 6 до 35 кВ, как правило, имеют нейтраль изолированную. Режим работы нейтрали, как и в целом системы заземления, предопределяет опасность электрической сети не только с точки зрения пожарной, но и электрической безопасности.

Однако в зависимости от режима нейтралей сети и подключения к данным нейтралям нулевых проводников потребителей различают следующие пять **систем**:

- 1) система TN-C;
- 2) система TN-S;
- 3) система TN-C-S;
- 4) система IT;
- 5) система TT.

Системы TN-C, TN-S и TN-C-S предполагают режим глухозаземленной нейтрали и наличие проложенного от нее нулевого проводника (или нескольких нулевых). Подчеркнем, что следует различать следующие виды нулевых проводников:

- **нулевой рабочий проводник** – необходимый для работы, прежде всего, однофазных электроустановок, на схемах он обозначается буквой «N», а изоляция данного проводника имеет голубой цвет по всей длине.
- **нулевой защитный проводник** – проводник, обеспечивающий защитную функцию, такой проводник еще называют проводником защитного заземления, на схемах обозначается буквами «PE», а изоляция данного проводника имеет цветовую окраску в виде продольных желто-зеленых полосок по всей длине;
- **совмещенный нулевой проводник** – проводник, объединяющий в себе функцию, как нулевого рабочего, так и нулевого защитного проводника, на схемах обозначается буквами «PEN», а изоляция данного проводника имеет голубую цветовую окраску по всей длине, но на концы данного проводника нанесены желто-зеленые полосы.

Важно отметить, что заземление и зануление предполагает присоединение к металлическим частям электроустановок и зданий исключительно «PE»-проводника.

В системе TN-C применяется только совмещённый проводник (рис. 56).

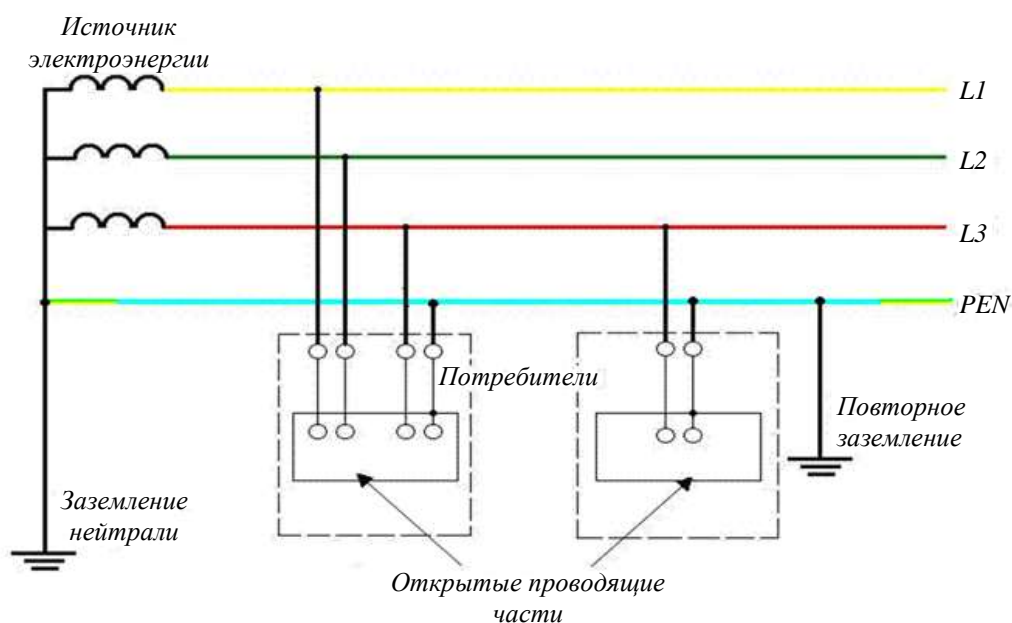


Рисунок 56 – Система TN-C

Система TN-C отличается своей конструктивной простотой и экономичностью. Вместе с тем данная система имеет ряд существенных недостатков, а именно:

- невозможность применения в данной системе УЗО и АВДТ, а значит, пожарная безопасность обеспечивается применением лишь предохранителей и автоматических выключателей;
- высокая вероятность обрыва (обгорания) PEN-проводника и как результат – повышение напряжения у части однофазных потребителей (вплоть до 380 В);
- появления потенциала в PEN-проводнике из-за неравномерной нагрузки по фазам (перекос фаз).

Вышеобозначенные недостатки свидетельствуют о крайне низком уровне пожарной и электрической безопасности данной системы, поэтому в настоящий момент сдавать в эксплуатацию систему TN-C запрещено.

**Система TN-S** предполагает раздельное применение нулевого защитного и нулевого рабочего проводников (рис. 57).

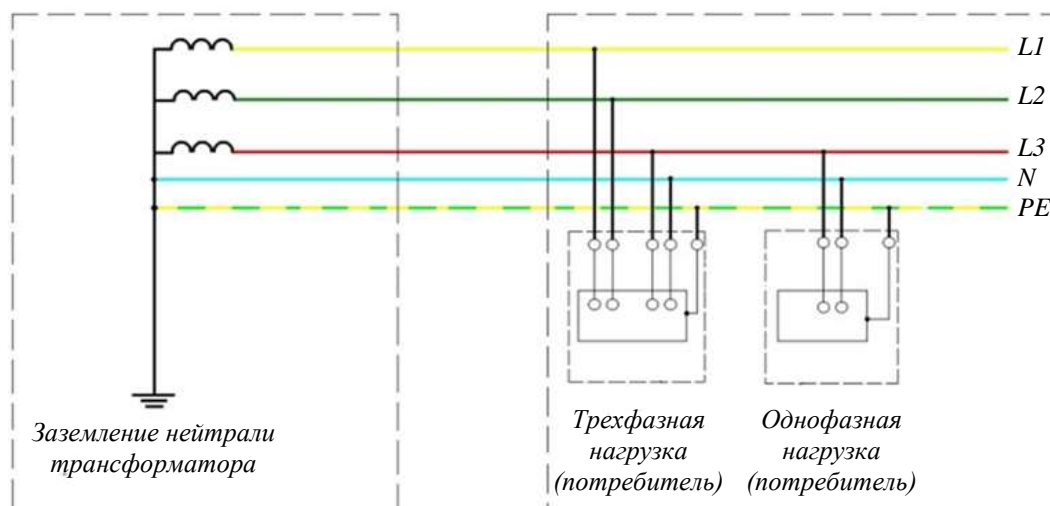


Рисунок 57 – Система TN-S

Такое раздельное применение по всей длине нулевых защитных и рабочих проводников позволяет считать TN-S системой с самым высоким уровнем пожарной и электрической безопасности. Это обусловлено, прежде всего, возможностью применения в ней аппаратов защиты дифференциального тока. Комплексное использование предохранителей, автоматических выключателей и АВДТ, УЗО, УЗДП, УЗИП позволит значительно снизить вероятность пожаров и загораний в электроустановках, подключенных к данной системе. Однако переход на систему TN-S может быть весьма затруднителен исходя из технико-экономических соображений. Система TN-S потребует не только прокладку и использование дополнительного проводника, но и полную реконструкцию всех систем электроснабжения напряжением 0,4 кВ, которые, как правило, все еще работают по системе TN-C.

В России весьма перспективным представляется применение системы TN-C-S (рис. 58), позволяющей не прибегать к кардинальной перестройке систем электроснабжения 0,4 кВ, но при этом использовать отдельно проложенный на определенном участке нулевой защитный проводник, что делает возможным обеспечить достаточно высокий уровень пожарной и электрической безопасности.

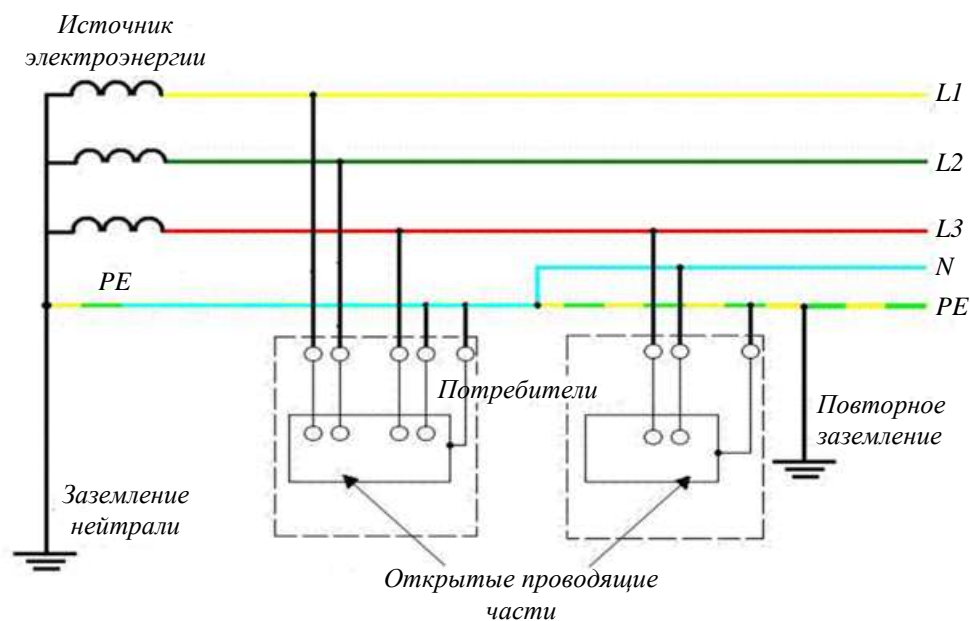


Рисунок 58 – Система TN-C-S

Высокий уровень пожарной безопасности системы TN-C-S возможен при соблюдении ряда условий [29]:

1. Совмещенный нулевой проводник должен применяться только на одном участке – начиная от источника питания до ВРУ потребителя. Во ВРУ необходимо произвести разделение совмещенного проводника на нулевой рабочий и нулевой защитный, причем их дальнейшее объединение где-либо – недопустимо.
2. На вводе в здание потребителя разделенный нулевой защитный проводник должен быть повторно заземлен.
3. Применение во ВРУ и в других распределительных щитах УЗО и АВДТ.

Система IT предполагает режим изолированной нейтрали (рис. 59).

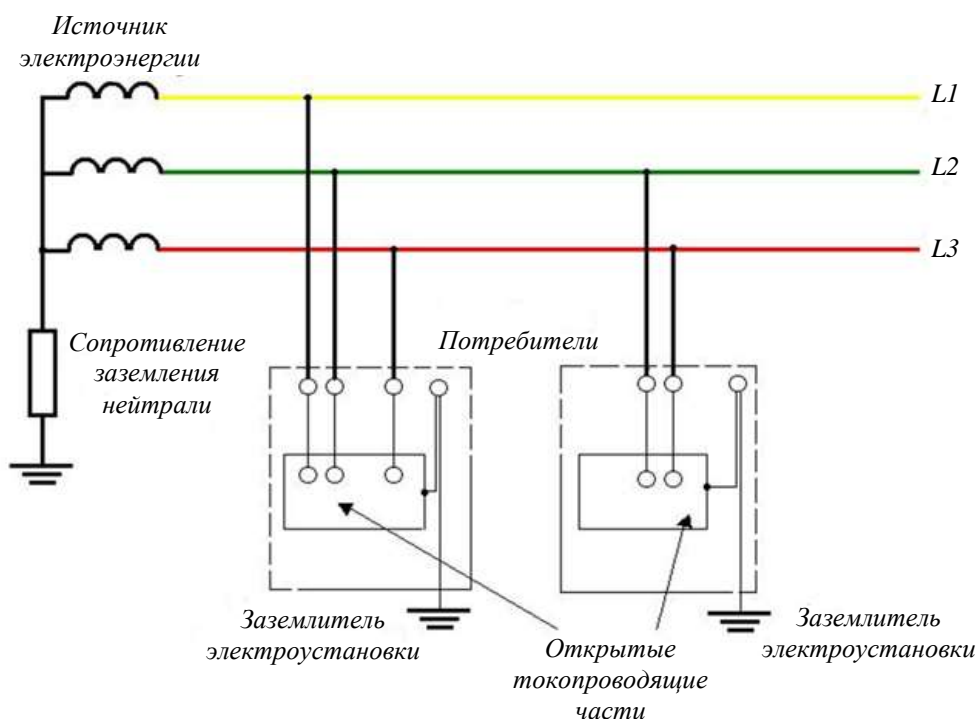


Рисунок 59 – Система IT

Как видно из рис. 59 система IT не предполагает использования нулевых рабочих или совмещенных проводников. Тем не менее, электроустановки заземляются посредством нулевых защитных проводников. Такая схема имеет характерную особенность – отсутствие в случае пробоя изоляции однофазного короткого замыкания, возникающее замыкание на землю при этом отличается малыми значениями тока. Такая особенность системы IT делает невозможным применение в схеме аппаратов защиты, реагирующих на ток однофазного короткого замыкания – предохранителей или однополюсных автоматических выключателей с электромагнитным расцепителем. Возможность применения УЗО в данной системе также ограничена или невозможна. Однако система IT обладает следующими достоинствами:

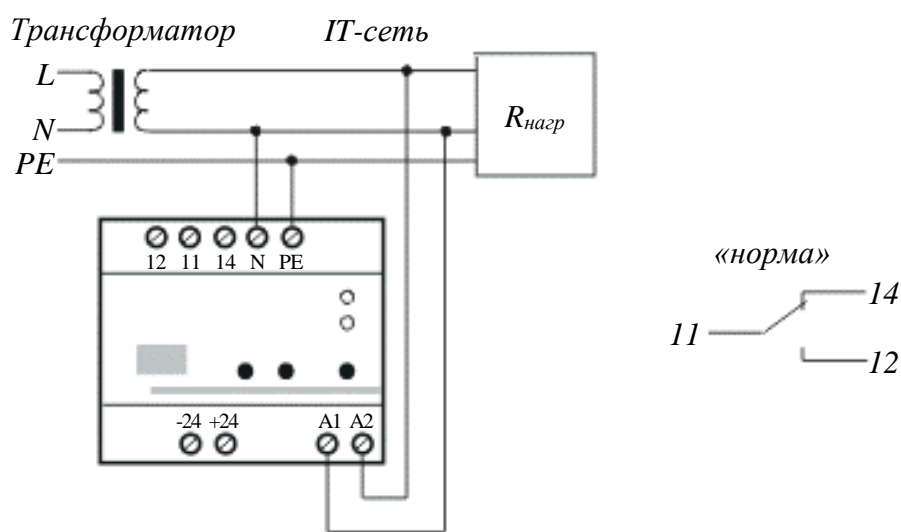
1. Высокая надежность и бесперебойность электроснабжения (даже при возникновении замыкания на землю).

2. Отсутствие искрения, дуги или недопустимого нагрева в месте замыкания.

Достоинства системы ИТ позволяют эффективно применять ее на пожаро- и взрывоопасных объектах предприятий нефтегазовой, химической, деревообрабатывающей промышленности, в шахтах, на горных разрезах и рудниках, а также в тех случаях, где важна беспрецедентная бесперебойность электроснабжения – потребителей особой категории. Однако эксплуатация системы ИТ требует обязательного применения устройств контроля изоляции (рис. 60), позволяющих оперативно реагировать на процессы старения изоляции или замыкания, возникающие между фазами.



*а*



*б*

Рисунок 60 – Устройство контроля изоляции:  
*а* – внешний вид; *б* – типовая схема подключения



**Система ТТ** предполагает наличие глухозаземленной нейтрали, но при этом заземление электрооборудования потребителей осуществляется независимым (от источника питания) нулевым защитным проводником.

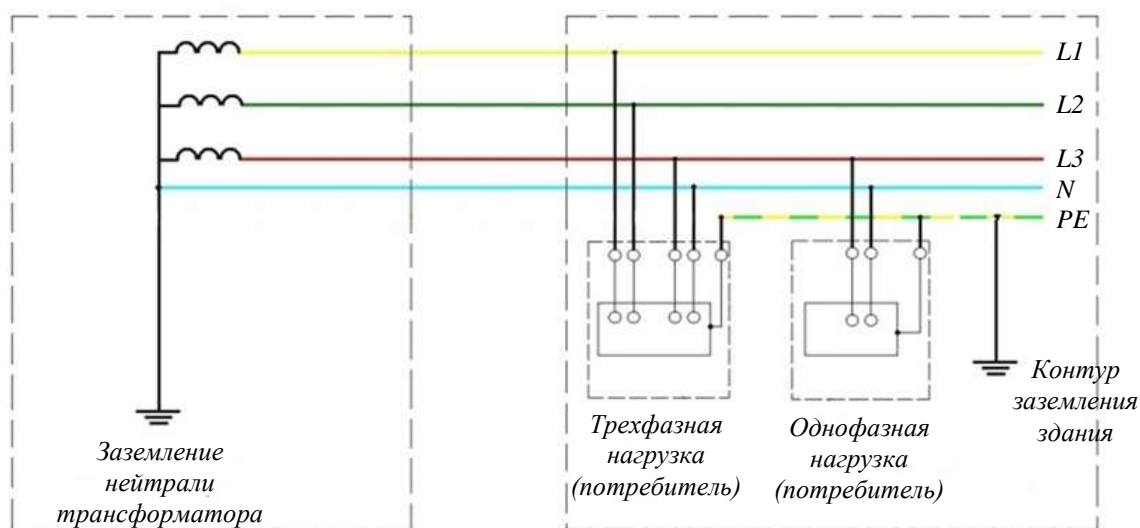


Рисунок 61 – Система ТТ

В случае пробоя изоляции одного из проводников в системе ТТ (рис. 61) возникающие токи замыкания отличаются малым значением, что делает невозможным применение однофазных автоматических выключателей предохранителей. Для обеспечения пожарной и электрической безопасности в системе ТТ обязательно применение УЗО. В нашей стране система ТТ применяется редко, в основном для временных сооружений, конструкции которых выполнены из металла, или для электроснабжения электронного оборудования, чувствительного к помехам.

Подчеркнем, системы ТТ и IT должны применяться только в обоснованных случаях. В электроустановках напряжением до 1000 В предпочтение должно отдаваться системам TN-S или TN-C-S.

Для обеспечения пожарной безопасности электроустановок важно не только правильно выбрать режим работы нейтрали, но и обеспечить правильное исполнение отдельных элементов заземления, прежде всего заземлителей.

Различают два вида заземлителей – **искусственные** и **естественные**. Под **естественными** заземлителями понимают металлические элементы и конструкции зданий или сооружений, уже имеющие непосредственный контакт с землей (например, обсадные трубы буровых скважин, металлические водопроводные трубы, металлические и железобетонные фундаменты). Не допускается использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы с горючими жидкостями и газами, а также трубопроводы центрального отопления и канализации [29]. Все вышеобозначенные элементы или конструкции, в том числе трубопроводы со взрывоопасными средами, следует присоединять к единому заземляющему устройству, поскольку это обеспечивает работу системы уравнивания потенциалов.

В качестве **искусственных** заземлителей рассматривают специально изготовленные для целей заземления металлические элементы в виде стержней круглого сечения, уголков, труб или стержней прямоугольного сечения. Искусственные заземлители должны изготавливаться только из черной или оцинкованной стали, а также из меди.

В зависимости от пространственного положения различают **вертикальные** и **горизонтальные** заземлители. Вертикальные заземлители при помощи сварки должны надежно присоединяться к горизонтальному, образуя тем самым заземляющее устройство. Само заземляющее устройство может быть **контурным** или **выносным** (рис. 62).

**Контурное** заземляющее устройство (рис. 62, а) является более предпочтительным, так как при таком виде заземления образуется единый замкнутый контур по периметру здания, а вертикальные заземлители расположены равноудаленно друг от друга, обеспечивая при этом высокую защитную эффективность всего заземления.

**Выносное** заземление (рис. 62, б) предполагает расположение заземлителей за пределами защищаемого участка (здания). К выносному заземлению вынужденно прибегают в том случае, если территория

предприятия не позволяет произвести монтаж контурного устройства (например, из-за большого удельного сопротивления грунта или помех, создаваемых ранее уже проложенными в данном месте коммуникациями).

Выносное заземление необходимо выполнять в местах с малым удельным сопротивлением грунта, ограниченных при этом от массового посещения людей.

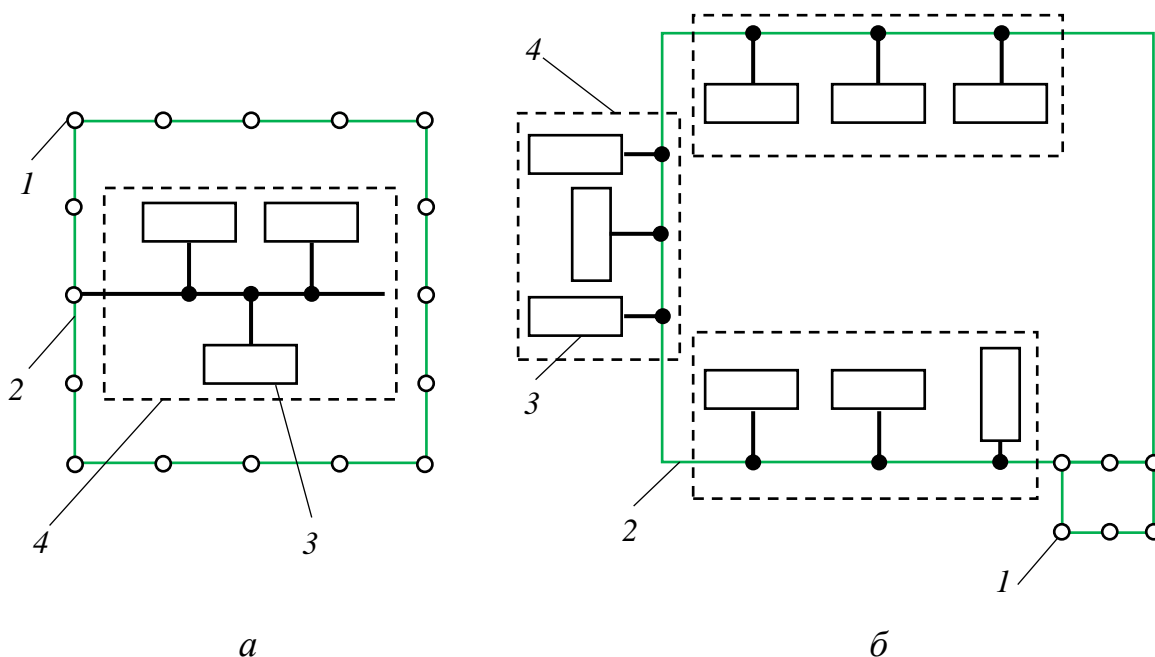


Рисунок 62 – Виды устройства заземления:  
*a* – контурное; *б* – выносное;  
 1 – вертикальные заземлители;  
 2 – горизонтальные заземлители;  
 3 – электроустановки, подлежащие заземлению;  
 4 – здания

От заземляющего устройства в здание должно быть проложено не менее двух заземляющих проводников, в случае их открытой (по поверхности) прокладки они должны быть окрашены в черный цвет. Заземляющие проводники образуют гальваническую связь с главной заземляющей шиной, от которой непосредственно осуществляется уже разветвление нулевых защитных (РЕ) проводников (рис. 63).



Рисунок 63 – Главная заземляющая шина (внешний вид)

Нулевые защитные проводники должны удовлетворять следующим условиям:

- 1) должны быть неразрывны на всем протяжении (подключение коммутационных аппаратов в цепь РЕ-проводников запрещено);
- 2) сечение РЕ-проводника должно быть не менее сечения фазного проводника в этой же цепи (но во всех случаях не менее  $2,5 \text{ мм}^2$ );
- 3) во взрывоопасных зонах РЕ-проводник должен быть выполнен отдельной жилой кабеля или провода;
- 4) цепь РЕ-проводника не должна быть образована через трубопроводы со взрывоопасными средами, отопления, свинцовые оболочки кабелей и другие металлические элементы, склонные к обрыву цепи.

Нулевые защитные проводники непосредственно должны присоединяться к металлическим нетоковедущим частям электроустановок и сторонами – к проводящим частям здания, подлежащим обязательному заземлению, что в совокупности образует **систему уравнивания потенциалов**. Система уравнивания потенциалов (рис. 64) позволяет избежать возникновения разности потенциалов между всеми расположенными в здании и на территории электроустановками, коммуникациями, системой молнезащиты и металлическими частями здания. Во

взрывоопасных зонах применение системы уравнивания потенциалов является обязательным условием.

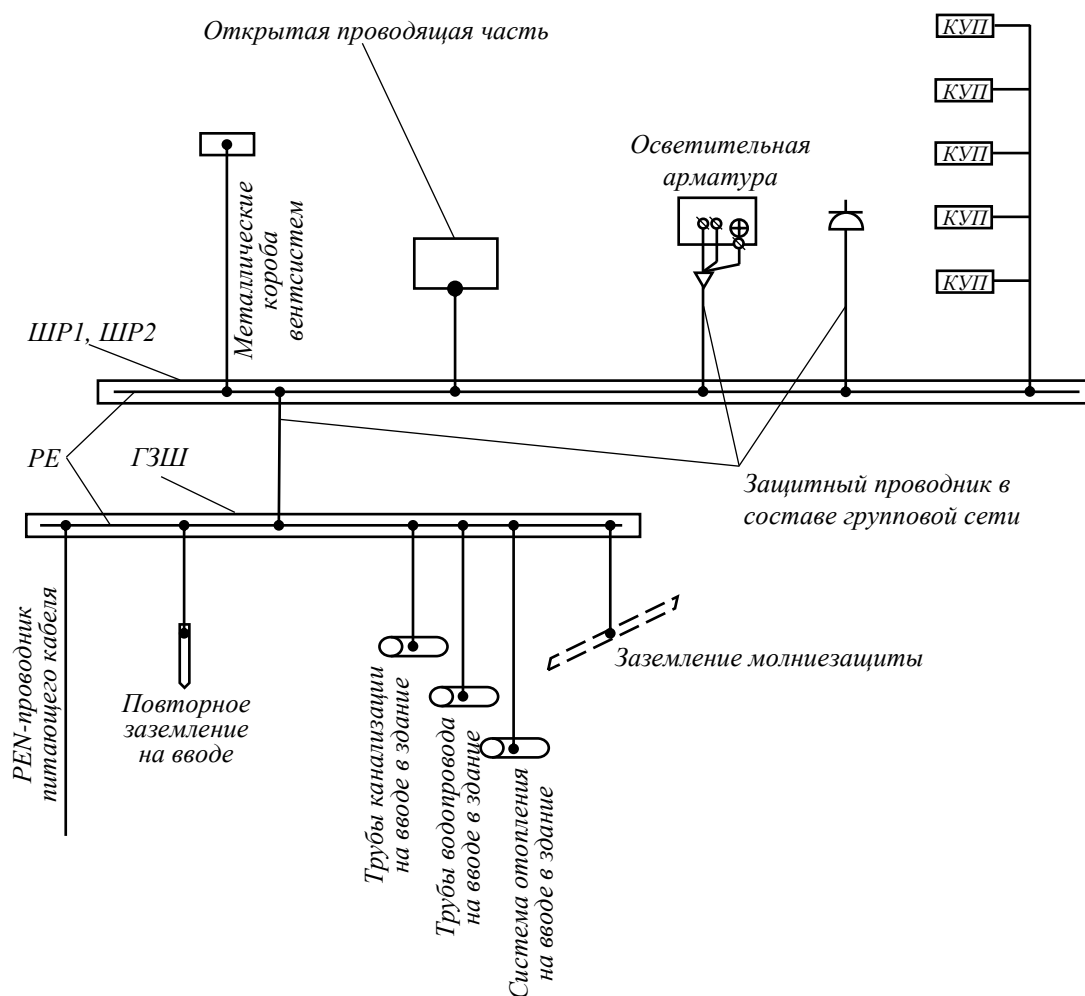


Рисунок 64 – Схема системы уравнивания потенциалов:  
 ГЗШ – главная заземляющая шина; ШП – заземляющие шинопроводы;  
 КУП – коробка уравнивания потенциалов

Расчет системы заземления заключается в определении оптимального количества вертикальных заземлителей, глубины их залегания и площади поперечного сечения.

Для расчета заземляющего устройства необходимо для начала определить эквивалентное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{экв}} = \frac{\psi \rho_1 \rho_2 L_6}{(\rho_1(L - H + t) + \rho_2(H - t))}, \quad (45)$$

где  $\rho_{\text{экв}}$  – эквивалентное сопротивление грунта, Ом·м;

$\rho_1\rho_2$  – удельное сопротивления верхнего и нижнего слоев грунта соответственно, Ом·м;

$H$  – толщина верхнего слоя грунта, м;

$L_g$  – длина вертикального заземлителя, м;

$t$  – заглубление вертикального заземлителя, м;

$\psi$  – коэффициент, учитывающий климатические условия местности.

Сопротивление одного стержневого вертикального заземлителя можно определить по формуле:

$$R_0 = \frac{\rho_{эжв}}{2\pi L_g} \left[ \ln\left(\frac{2L_g}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4T + L_g}{4T - L_g}\right) \right], \quad (46)$$

где  $T$  – расстояние от уровня земли до середины вертикального заземлителя, м;

$d$  – диаметр стержня вертикального заземлителя.

Ориентировочное количество вертикальных заземлителей в таком случае определяется по выражению:

$$n_0 = \frac{R_0\psi}{R_n}, \quad (47)$$

где  $R_n$  – нормируемое сопротивление заземляющего устройства.

Сопротивление заземляющего устройства должно быть минимальным для электроустановок с глухозаземленной нейтралью и составлять не более: 0,5 Ом – для высоковольтных электроустановок и не более 4 Ом – для низковольтных электроустановок [29].

### Контрольные вопросы и задания

1. Объясните роль заземления в обеспечении пожарной безопасности электроустановок.

2. Какие аппараты защиты требуют обязательного наличия заземления?

3. Опишите устройство заземления. Объясните предназначение каждого элемента.
4. Какие параметры следует учитывать при расчете системы заземления?
5. Что называется системами TN-C, TN-S, TN-C-S? Что общего между этими системами?
6. Обоснуйте применение электроустановок с изолированной нейтралью на взрывоопасных объектах.
7. Назовите требования, предъявляемые к нулевым защитным проводникам.
8. Можно ли совместно использовать нулевые рабочие и нулевые защитные проводники?
9. Какие действия недопустимы с нулевыми рабочими проводниками?
10. Что такое система уравнивания потенциалов? Какова роль этой системы в обеспечении пожарной безопасности?
11. Чем отличается зануление от заземления?
12. Какой режим работы нейтрали предпочтителен в электроустановках напряжением до 1000 В?

## 5. МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

### 5.1. Молниезащита

**Молния** представляет собой электрический разряд, возникающий в атмосфере между заряженным облаком и землей, а также между разноименно заряженными частями облака или соседними облаками. Длина канала обычно достигает нескольких километров, причем значительная его часть находится в грозовом облаке [44].

Опасность воздействия молнии может быть двоякой. Во-первых, может поражать здания и установки непосредственно прямым ударом, или первичным воздействием. Прямой удар молнии характеризуется непосредственным контактом канала молнии со зданием или сооружением и сопровождается протеканием через него тока молнии. Во-вторых, молния может оказывать вторичные воздействия, заключающиеся в проявлении электростатической и электромагнитной индукции, а также в ходе заносов высоких потенциалов через надземные и подземные металлические коммуникации, что является следствием прямого удара молнии. Вторичные воздействия создают опасность искрения внутри защищаемого объекта [44].

Прямой удар молнии определяет *термические, механические и электрические* воздействия на объекты. Все эти воздействия могут быть причинами пожаров, взрывов, механических разрушений, перенапряжения на пораженных элементах объекта, проводах и кабелях электрических сетей, а также 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 крайне высокую температуру (30 000 °С и выше) и значительный запас тепловой энергии.



Особую опасность прямой удар молнии представляет для зданий и наружных установок, где по условиям технологического процесса может образоваться взрывоопасная среда.

Опасность поражения прямым ударом молнии некоторых наружных взрывоопасных установок связана с проплавлением молнией металлических поверхностей, перегревом их внутренних стенок или воспламенением взрывоопасных смесей паров и газов, выделяющихся через дыхательные и предохранительные клапаны, газоотводные трубы, свечи. Сюда относятся металлические и железобетонные резервуары со сжиженными горючими газами, многие аппараты наружных технологических установок нефтеперерабатывающих, химических и других объектов.

**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. Наиболее серьезные из них связаны с электрогидравлическими эффектами при разряде молнии. Если между пораженным участком объекта и землей нет токопроводящих путей, его потенциал по отношению к земле достигает высоких значений и возникает пробой (разряд) по пути наименьшей электрической прочности.

Ток молнии, устремляясь в узкие каналы пробоя, вызывает резкое повышение температуры и испарение (взрыв) в них материала. При этом давление достигает значительных величин, что приводит к взрыву (расщеплению) токонепроводящих частей объекта, например, разрушение незащищенных кирпичных дымовых труб, башен.

**Электрические воздействия молнии** связаны с поражением людей 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 [20]. Даже при выполнении молниезащиты прямые удары молнии с большими токами и крутизной могут привести к перенапряжениям со значением в несколько мегавольт.

Значительное число пожаров нефтяных цистерн, резервуаров и складских емкостей может быть вызвано вторичным (индуцированным) воздействием, а не прямым ударом молнии. Пожары являются результатом искр, образовавшихся в емкостях с горючими паровоздушными смесями [44].

Кроме того, возможны и **заносы высоких потенциалов** в здания и сооружения по трубопроводам, рельсовым путям, эстакадам, кабельным сооружениям и по другим протяженным металлическим коммуникациям, что впоследствии вызывает мощные электрические разряды 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 (снижение диэлектрической прочности) 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.

Тяжесть опасных последствий прямого удара молнии при ее термических, механических и электрических воздействиях, а также искрениях и перекрытиях, вызванных другими видами воздействий, зависит от конструктивно-планировочных особенностей зданий и сооружений и пожаровзрывоопасности технологического процесса. Например, в производствах, постоянно связанных с наличием открытого пламени, при применении несгораемых материалов и конструкций протекание тока молнии не представляет большой опасности. Однако наличие внутри объекта

взрывоопасной или пожароопасной среды создает большую угрозу пожаров, разрушений, человеческих жертв и больших материальных потерь.

В настоящее время основными нормативными документами по молниезащите в Российской Федерации являются:

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87 (утв. Минэнерго СССР 12.10.1987) [20].

2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003 (утв. приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 30.06.2003 № 280) [21].

Оба документа действуют одновременно, хотя между ними существуют некоторые различия. При столкновении с разночтениями, целесообразно придерживаться требований, которые являются более жесткими.

Требования, предъявляемые к молниезащите различных зданий и сооружений, не одинаковы, они зависят от тяжести последствий возможных ударов молнии. Для этого существует классификация всех зданий и сооружений по категориям опасности [20]:

**I категория** – здания и сооружения, в которых постоянно образуются взрывоопасные газо- паро- пылевоздушные смеси, т.е. зоны В-I и В-II по классификации ПУЭ или 0 и 20 – по классификации ТР;

**II категория** – здания и сооружения, в которых взрывоопасные газо- паро- пылевоздушные смеси могут образоваться только в результате аварии или неисправности в технологическом процессе, т.е. зоны В-Ia, В-Iб, В-IIa по классификации ПУЭ или 2 и 22 – по классификации ТР. Средняя продолжительность грозových часов в год составляет более 10;

**III категория** – здания, сооружения и технологические установки, в которых обращаются горючие жидкости или твердые горючие вещества, т.е. существуют пожароопасные зоны П-I, П-II, П-IIa, П-III. Средняя продолжительность грозových часов в год составляет более 20.

Таким образом, требования к молниезащите зданий и сооружений определяются опасностью защищаемого объекта, суммарной продолжительностью грозových часов за год и количеством ожидаемых попаданий молний в защищаемый объект.

Продолжительность грозových часов в год может быть определена графическим путем по карте грозовой активности России в зависимости от местности. Так, например, для городов, расположенных на широте 50–55° количество грозových часов колеблется от 20 до 40 [20].

Ожидаемое количество поражений молнией для зданий и сооружений зависит от их размеров и геометрической формы.

Так, для зданий и сооружений прямоугольной формы количество поражений может быть определено по формуле:

$$N = [(B + 6h_x)(L + 6h_x) - 7.7h_x^2] n 10^{-6}. \quad (48)$$

Для сооружений, имеющих сосредоточенную форму (вышки, башни):

$$N = 9\pi h_x^2 n 10^{-6}, \quad (49)$$

где  $h_x$  – высота здания или сооружения;

$L$  и  $B$  – длина и ширина соответственно;

$n$  – среднегодовое число ударов молнии в 1 км<sup>2</sup> земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю).

Среднегодовое число ударов молнии зависит от средней продолжительности грозových часов в год и может быть определено по таблице 14 [20].

Таблица 14 – Зависимость удельной плотности ударов молнии от средней продолжительности часов в год

Средняя продолжительность гроз, ч	10–20	21–40	41–60	61–80	81–100	≥101
Удельная плотность ударов молнии в землю $n$ , 1/(км <sup>2</sup> ·год)	1	2	4	5,5	7	8,5

Здания и сооружения **I категории** должны быть обязательно защищены от прямых ударов молнии, электростатической и

электромагнитной индукции и заноса в них высокого потенциала через наземные и подземные коммуникации. Молниезащита при этом должна быть выполнена отдельно стоящими стержневыми или тросовыми молниеотводами.

Здания и сооружения **II категории** должны быть защищены от прямых ударов молнии, ее вторичных воздействий и заноса в них высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации только в местностях со средней продолжительностью гроз более 10.

**Тип зоны защиты** молниеотводов зависит от показателя  $N$ : зона типа **A** принимается при  $N > 1$ , а зона типа **B** – при  $N \leq 1$ . Наружные технологические установки класса В-1г, относимые также ко II категории, подлежат защите от прямых ударов молнии на всей территории России, а молниеотводы предусматриваются с зонами типа Б. Некоторые из этих установок подлежат защите и от электростатической индукции (резервуары с плавающими крышами или понтонами). Молниезащита для таких объектов выполняется в виде молниеприемной сетки с определенным шагом ячейки, а также отдельно стоящими или установленными на защищаемом объекте тросовыми или стержневыми молниеприемниками.

Здания и сооружения **III категории** (с зонами классов П-I, П-II, П-IIIa) подлежат молниезащите в местностях со средней продолжительностью гроз 20 и более часов в год, а тип зоны защиты молниеотводов зависит от степени огнестойкости здания. Например, зона типа Б требуется для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости при  $0,1 < N \leq 2$ , а для III, IV и V степени огнестойкости при  $0,02 < N \leq 2$ ; при  $N > 2$  необходима зона типа А. Для наружных установок класса П–III молниезащита предусматривается при средней продолжительности гроз 20 и более часов в год при зоне защиты типа Б, если  $0,1 < N \leq 2$ ; при  $N > 2$  – зона типа А. Все здания и сооружения III категории должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации, а наружные установки должны быть защищены только от прямых ударов

молнии. Защита сооружений, относящихся к III категории молниезащиты, выполняется аналогично II категории [43].

**Система молниезащиты или молниеотводов** состоит из следующих элементов (рис. 65) [44]:

- 1) **молниеприемники** – стержни, проводники молниеприемной сетки или подвесные тросы, предназначенные для перехвата молнии;
- 2) **токоотвод** – элемент, предназначенный для отведения тока молнии от молниеприемника в заземляющее устройство;
- 3) **заземление молниезащиты** – заземление, предназначенное для проведения тока молнии и рассеяния его в земле.

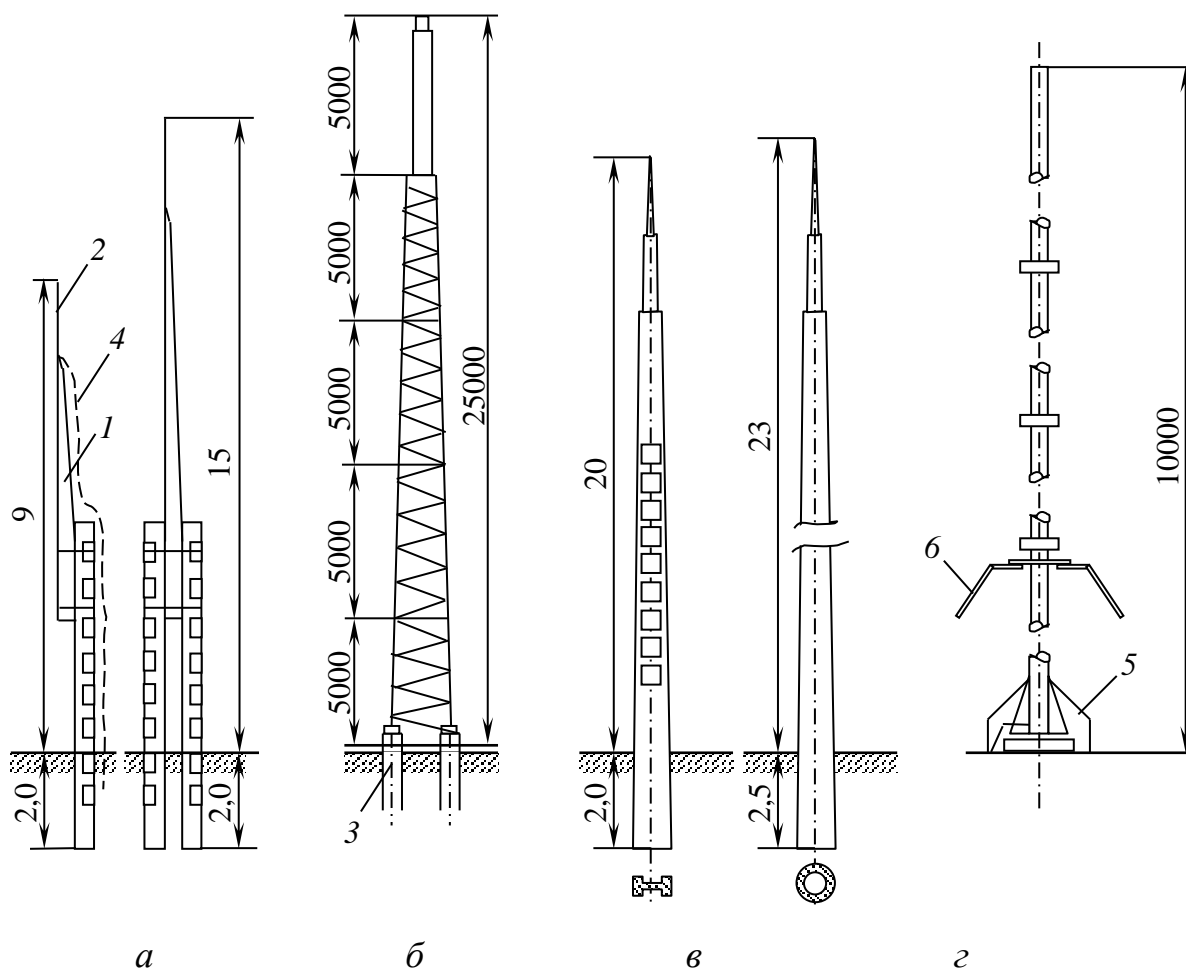


Рисунок 65 – Конструкции стержневых молниеприемников:  
*а* – на деревянной опоре; *б* – металлический решетчатый типа М-25;  
*в* – на железобетонной опоре;  
*г* – молниеприемник из металлических труб, установленных на крыше;  
 1 – опора (стойка); 2 – молниеприемник; 3 – подножник;  
 4 – токопровод (спуск); 5 – фланец; 6 – оттяжка

Стержневые, тросовые и сетчатые молниеприемники непосредственно воспринимают прямой удар молнии и должны выдерживать ее термическое и динамическое воздействия, а также быть надежными в эксплуатации.

Стержневые молниеприемники изготавливаются из покрытой антикоррозийной защитой (оцинкование, лужение, покраска) круглой и угловой стали или из некондиционных водогазопроводных труб (рис. 65).

В качестве молниеприемников можно использовать дымовые, выхлопные и другие металлические трубы объекта, дефлекторы (если они не выбрасывают горючие пары и газы), кровлю, водосточные трубы и другие металлические элементы сооружений [44].

Токоотводы молниеотводов применяют для соединения молниеприемников с заземлителями из стали любого профиля. Их рассчитывают на пропускание полного тока молнии без нарушений и существенного перегрева. Токоотводы должны быть оцинкованы, пролужены или окрашены для предупреждения коррозии.

Заземляющие устройства являются важнейшим элементом в комплексе средств обеспечения защиты объектов от прямого удара молнии, заноса высоких потенциалов по коммуникациям и электростатической индукции. Основной частью их являются собственно заземлители, находящиеся в грунте с малым удельным сопротивлением. При этом места расположения заземлителей молниезащиты должны быть огорожены и недоступны для массового пребывания людей.

Защитное действие молниеотвода характеризуется вероятностью прорыва молнии. Под этой вероятностью понимают отношение числа разрядов молнии в защищаемой объект к общему числу разрядов в систему молниеотвод-объект. При анализе поражения молниями различных сооружений было установлено, что вероятность прорыва молнии к объекту снижается по мере сокращения расстояний между молниеотводом и объектом. Однако определение вероятности прорыва для каждого

конкретного сооружения – это задача достаточно сложная, поэтому в проектной практике широко пользуются **зонами защиты молниеотводов**.

Под **зоной защиты** понимают пространство в окрестности молниеотвода, характеризующееся тем, что вероятность прорыва молнии к любому объекту внутри зоны не превышает некоторой достаточно малой величины [44].

По типу молниеприемников молниеотводы делятся на *стержневые*, *тросовые* и *сеточные*; по количеству и общей зоне защиты – на *одиночные*, *двойные* и *многократные* (табл. 15). Кроме того, различают молниеотводы отдельно стоящие, изолированные и неизолированные от защищаемого здания. Чаще используют стержневые молниеотводы.

Таблица 15 – Расчетные формулы для молниеотводов

<b>Зона А:</b> степень надежности защиты $\geq 99,5\%$	<b>Зона Б:</b> степень надежности защиты 95–99,5%
<b>Одиночные стержневые: <math>h = (r_x + 1,63h_x)/1,5</math></b>	
$h_0 = 0,85h$	$h_0 = 0,92h$
$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3}h)h$	$r_0 = 1,5h$
$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3}h)(h - 1,2h_x)$	$r_x = 1,5(h - 1,1h_x)$
<b>Двойные стержневые: <math>h = (h_c + 0,14L)/1,13</math></b>	
При $L \leq h$	
$h_c = h_0$	
$r_{cx} = r_x$	
$r_c = r_0$	
<b>При <math>h &lt; L \leq 2h</math></b>	<b>При <math>h &lt; L \leq 6h</math></b>
$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$	$h_c = h_0 - 0,14(L - h)$
$r_c = r_0$	$r_c = r_0$
$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$	$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$
<b>При <math>2h &lt; L \leq 4h</math></b>	
$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$	
$r_c = r_0[1 - 0,2(L - 2h)/h]$	
$r_{cx} = r_c(h_c - h_x)/h_c$	
<b>При <math>L &gt; 4h</math></b>	
Молниеотводы рассматривать как одиночные	<b>При <math>L &gt; 6h</math></b>
Молниеотводы рассматривать как одиночные	
<b>Многократные стержневые</b>	
Зона защиты строится посредством попарно взятых соседних стержневых молниеотводов. Основным условием защищенности одного или нескольких объектов высотой $h_x$ с надежностью зон А и Б является $r_{cx} > 0$	
<b>Тросовые: <math>h = (r_x + 1,85h_x)/1,7</math></b>	
$h_0 = 0,85h$	$h_0 = 0,92h$
$r_0 = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)h$	$r_0 = 1,7h$



Защитные зоны стержневых и тросовых молниеотводов рассчитываются по формулам из таблицы 15 [20].

Таким образом, параметрами молниезащиты являются (рис. 66–70):

$h$  – полная высота молниеотвода;

$h_0$  – высота вершины конуса стержневого молниеотвода;

$h_m$  – высота стержневого молниеприемника;

$h_a$  – активная высота молниеотвода;

$h_x$  – высота защищаемого сооружения;

$r_0, r_x$  – радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения;

$h_c$  – высота средней части двойного стержневого молниеотвода;

$\alpha$  – угол защиты;

$L$  – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами;

$a$  – длина пролета между опорами троса;

$h_{on}$  – высота опоры троса.

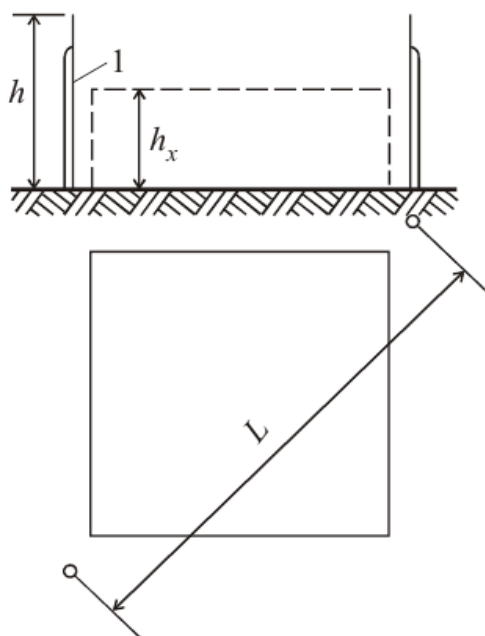
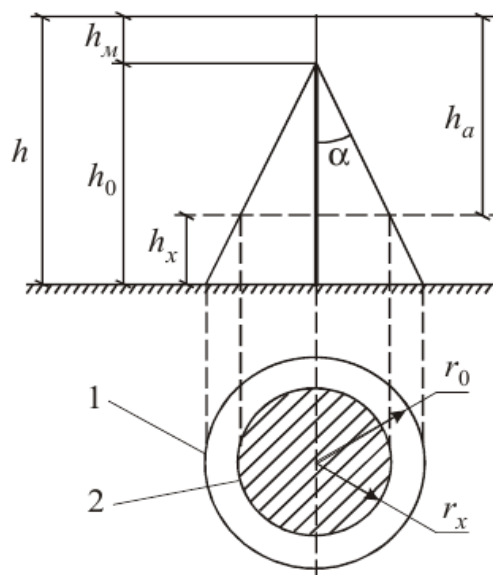
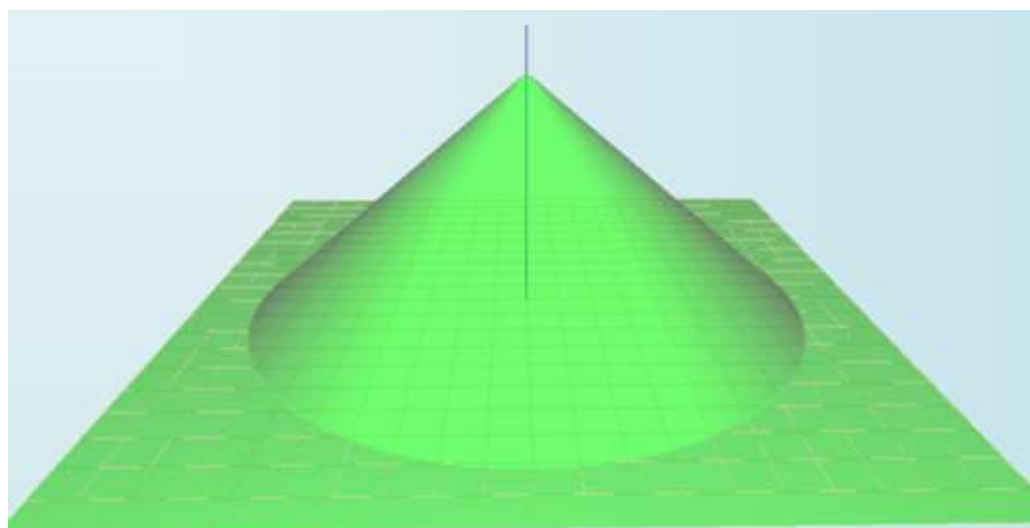


Рисунок 66 – Схема расположения отдельно стоящих молниеотводов:  
 $1$  – молниеотвод;  $h$  – высота молниеотвода;  $h_x$  – высота опорных конструкций подстанции;  $L$  – расстояние между молниеотводами



*a*



*б*

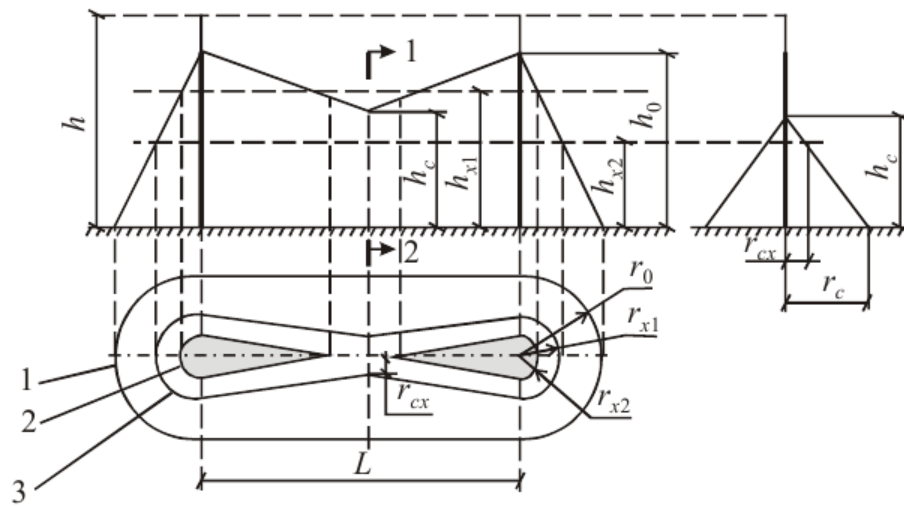
Рисунок 67 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода:

*a* – схема защиты;

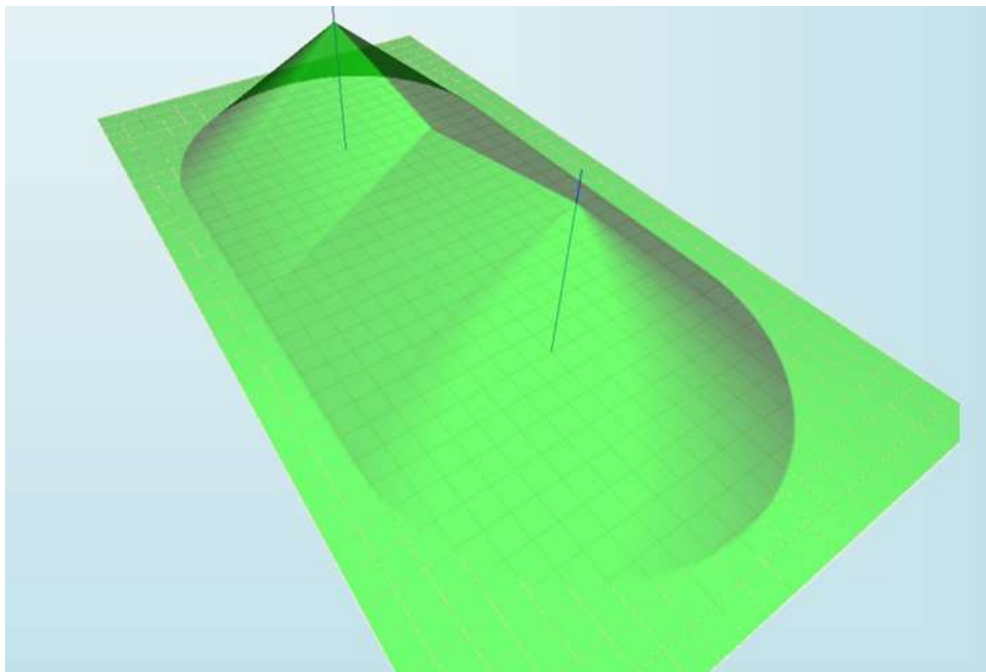
*б* – вид защищаемой зоны (модель);

*1* – граница зоны защиты на уровне земли;

*2* – то же на уровне  $h_x$



*a*



*б*

Рисунок 68 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода:

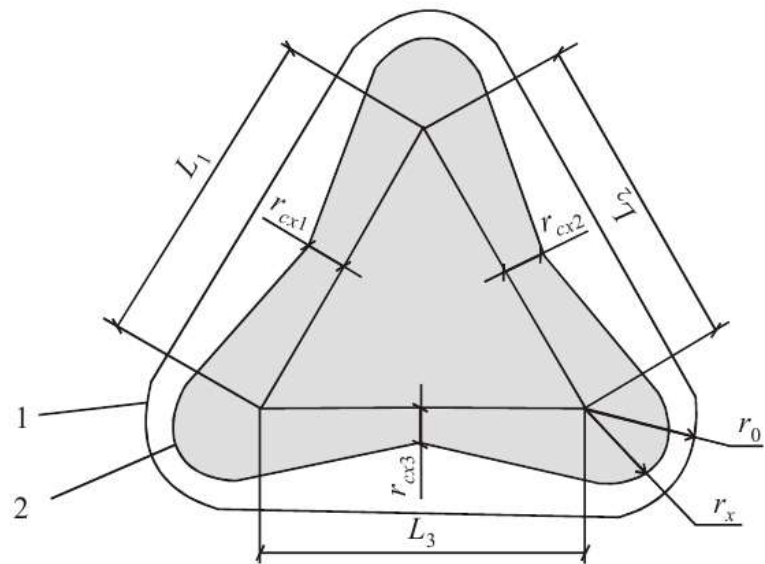
*a* – схема защиты;

*б* – вид защищаемой зоны (модель);

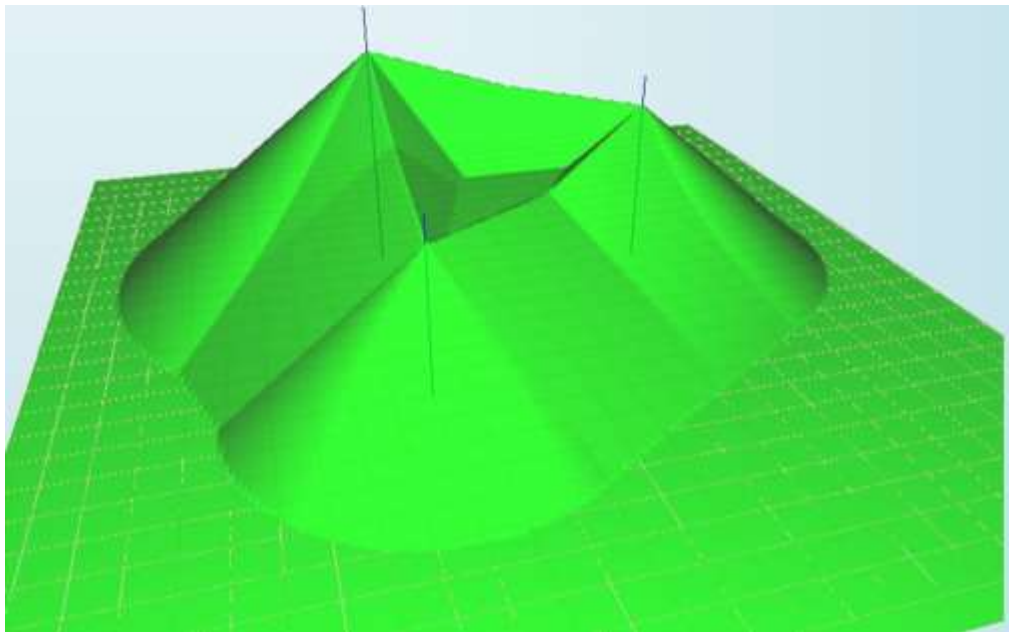
*1* – граница зоны защиты на уровне земли;

*2* – то же на уровне  $h_{x1}$ ;

*3* – то же на уровне  $h_{x2}$

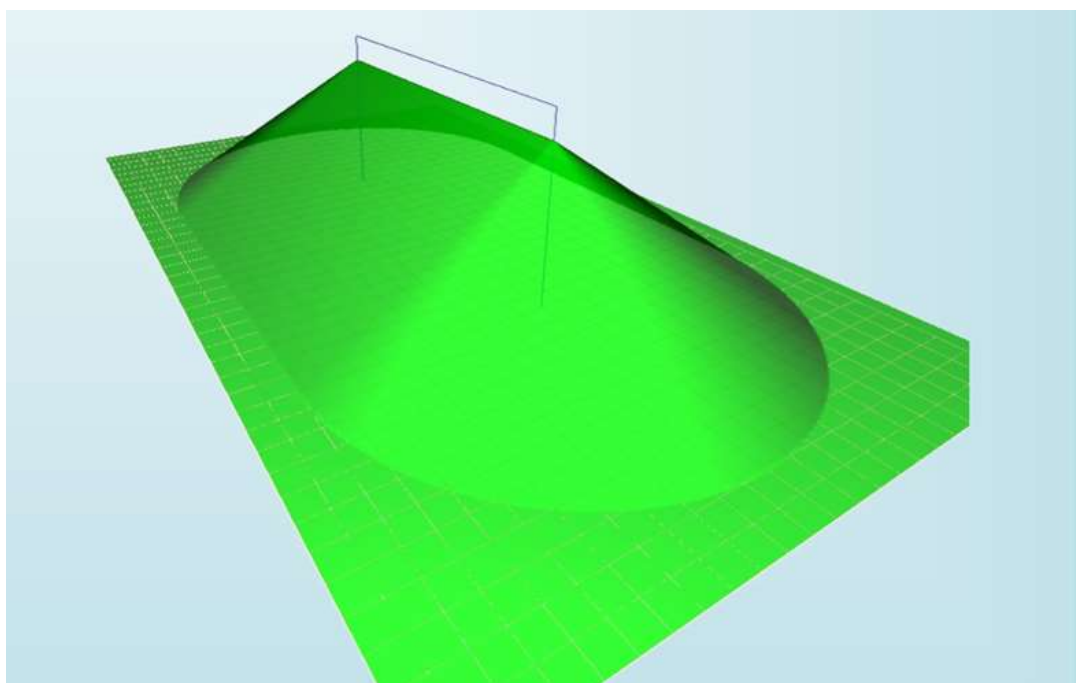
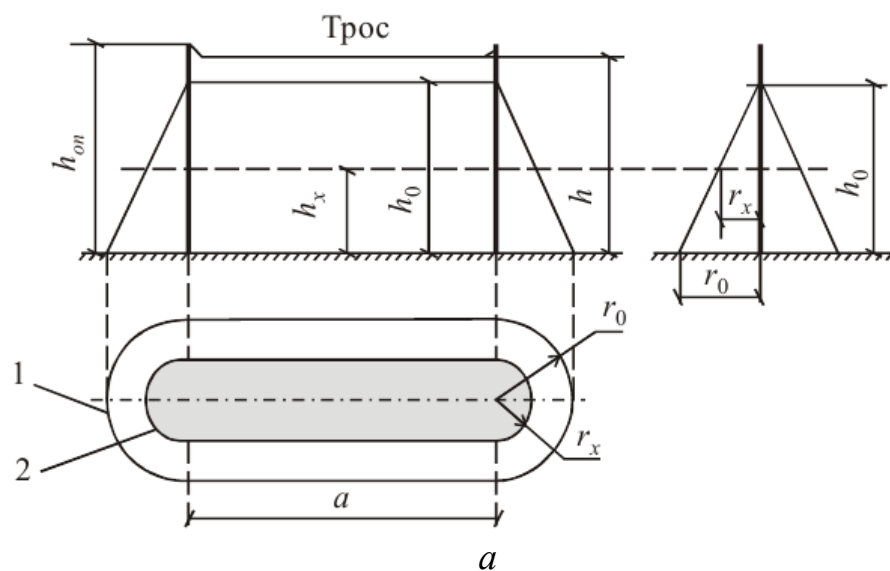


*a*



*б*

Рисунок 69 – Зона защиты многократного стержневого молниеотвода:  
*a* – схема защиты;  
*б* – вид защищаемой зоны (модель);  
*1* – граница зоны защиты на уровне земли;  
*2* – то же на уровне  $h_x$



*б*

Рисунок 70 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода:

*а* – схема защиты;

*б* – вид защищаемой зоны (модель);

*1* – граница зоны на уровне земли;

*2* – то же на уровне  $h_x$

## 5.2. Защита от статического электричества

**Статическое электричество** возникает при трении различных веществ и предметов (диэлектриков), поэтому его иногда называют электричеством трения.

Статическое электричество также возникает и при движении горючих жидкостей по трубопроводам, сливании их из одной тары в другую, обработке хлопчатобумажных и иных тканей клеевыми массами, сматывании бумажных и матерчатых тканей с рулонов, на ременных передачах и т.д.

На заводах по производству полимерных или резинотехнических изделий статическое электричество чаще всего возникает в тех случаях, когда на операциях сборки изделий склеиваются детали; ткани покрываются резиновыми составами, а также во время изготовления клея. Опасность статического электричества реальна и на предприятиях, изготавливающих искусственную кожу, дерматин, гранитоль и т.п. Высокие заряды статического электричества возникают на:

- хлопко-чесальных машинах ткацких фабрик, а также в местах прохождения нитей;
- в мукомольной промышленности – на вальцовых станках;
- в типографиях и целлюлозно-бумажном производстве – на ротационных машинах, а также в процессе сматывания бумаги с рулонов;
- в трубопроводах – при перекачивании в них углеводородов (нефти, нефтепродуктов, газа);
- в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами – при сливо-наливных операциях.
- в механизмах и агрегатах с применением ременной передачи.

Заряд статического электричества может появиться при выходе струй сжатого воздуха и горючих газов, если эти струи находятся под давлением.

Степень электризации бывает различной. В некоторых случаях потенциал электрического поля может достигать нескольких десятков тысяч вольт. При таких потенциалах происходит разряд с искрением. Искра электростатического заряда способна вызвать взрыв пыле-газовоздушной смеси и даже загорание твердых легкогорючих веществ. Поэтому защита от статического электричества обязательна для взрывоопасных и пожароопасных зон с классами В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa, П-I и П-II (по классификации ПУЭ).

Защита от статического электричества предполагает использование следующих мер:

1. Отвод зарядов за счет применения защитного заземления коммуникаций и оборудования.
2. Отвод зарядов за счет снижения удельного поверхностного и объемного сопротивлений.
3. Нейтрализация зарядов вследствие применения нейтрализаторов.

Применение защитного заземления позволяет эффективно бороться с зарядами статического электричества. При этом необходимо заземлять как все металлические части технологического оборудования, так и электропроводные неметаллические. Для защиты от статического электричества обязательному заземлению подлежат:

- резервуары и емкости объемом более 50 м<sup>3</sup> (в двух противоположных точках);
- металлические короба вентиляции, кожухи тепловой изоляции аппаратов и трубопроводов (через каждые 40–50 м);
- наливные стояки железнодорожных и автомобильных эстакад;
- рельсы железнодорожных путей в пределах сливо-наливной эстакады;
- автоцистерны (в течение всего времени сливо-наливной операции);
- шланги (в том числе резиновые), используемые для налива горючих жидкостей в эстакадах (рис. 71).

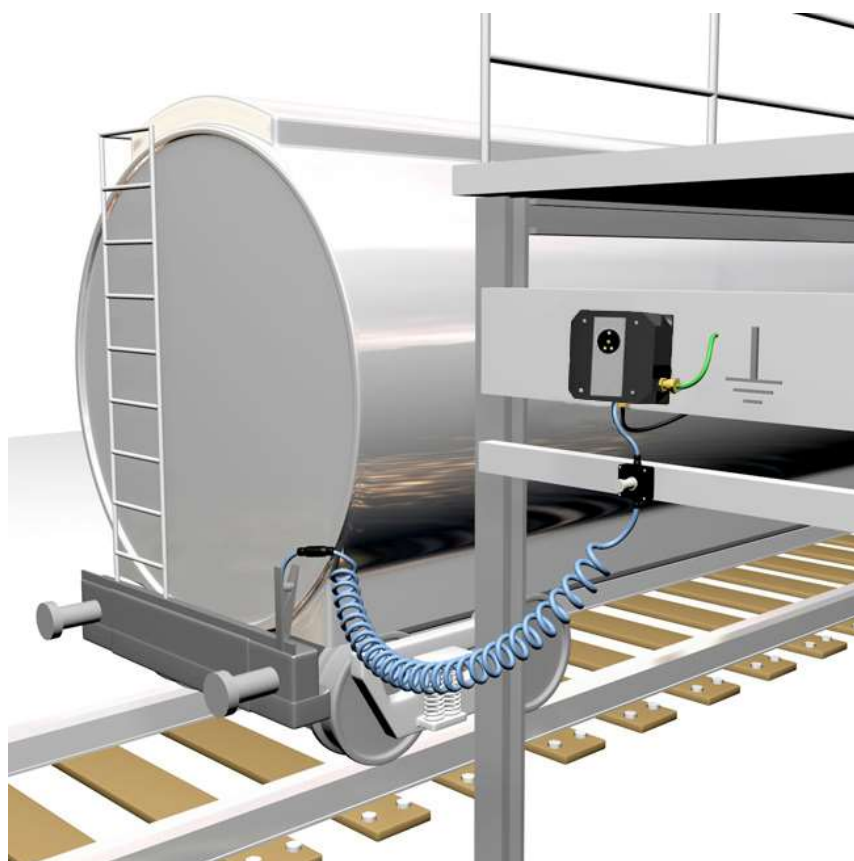


Рисунок 71 – Защита от статического электричества на наливной железнодорожной эстакаде (пример)

В том случае, когда применение защитного заземления для предупреждения образования зарядов статического электричества неэффективно, следует принимать меры, направленные на снижение значения удельного поверхностного и объемного сопротивления обрабатываемых в технологическом процессе материалов. Данный способ заключается в следующем:

- повышение относительной влажности воздуха в производственном помещении до 65–70 % путем установки увлажнителей, подачи пара в помещение или охлаждения электризующихся поверхностей до температуры на 10 °С ниже температуры окружающей среды;
- использование поверхностно-активных веществ для обработки или глубинной пропитки материалов (с последующей сушкой). В качестве поверхностно-активных веществ применяются, например, аламин, алкамон, ксилиталь и др.;



- использование присадок при хранении и транспортировке углеводородов, в том числе нефтепродуктов. В качестве присадок используются, например, олеат хрома, олеат кобальта и др.

В тех случаях, когда применение вышеуказанных методов невозможно либо не дает должного эффекта, допускается прибегнуть к использованию **нейтрализаторов**. Применение нейтрализаторов основано на явлении ионизации воздуха. При этом сами нейтрализаторы следует располагать в непосредственной близости от поверхности статически заряженного материала (как правило, не более 50 мм).

Различают следующие виды нейтрализаторов:

- **индукционный** (ионизация обеспечивается за счет образованного в нем электростатического поля);
- **высоковольтный** (ионизация обеспечивается работой высоковольтных электродов) (рис. 72);
- **радиоизотопный** (ионизация обеспечивается работой радиоактивного источника);
- **аэродинамический** (ионизация обеспечивается потоком воздуха).



Рисунок 72 – Высоковольтный нейтрализатор статического электричества

При работе нейтрализатора осуществляется ионизация воздуха, т.е. насыщение воздушного пространства униполярными (противоположными по знаку) ионами. Во взрывоопасных помещениях необходимо обеспечить

установку нейтрализаторов за пределами данных помещений, при этом поток ионизированного воздуха следует организовать через систему вентиляции.

Кроме описанных технических средств для дополнительной защиты от статического электричества следует также соблюдать следующие меры:

- ограничивать скорость сливо-наливных операций;
- исключать попадание твердых и жидких частиц в газовые потоки;
- транспортировку сыпучих и газовых сред осуществлять в оборудовании с металлическими (приоритетно из цветных металлов) корпусами и частями;
- не допускать падения относительной влажности воздуха менее 65 %;
- применять увлажнение пола;
- во вращающихся и движущихся механизмах применять электропроводные смазки;
- использовать специальную антистатическую одежду и обувь.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Объясните явление статического электричества и обоснуйте его пожарную опасность.

2. Какие технологические процессы склонны к образованию зарядов статического электричества?

3. Может ли хранение нефтепродуктов вызвать образование зарядов статического электричества?

4. Назовите способы предупреждения накопления статического электричества.

5. Укажите основные элементы, входящие в состав молниезащиты.

6. Какие виды молниеприемников вы знаете?

7. Назовите категории объектов защиты от попадания в них молнии.

Какова цель данного категорирования?

8. Попробуйте объяснить принцип выбора конструкции молниеприемников.

9. В чем заключается косвенная опасность грозových разрядов?

10. В каких местах должно располагаться заземление молниезащиты?

## **6. НАДЗОР ЗА ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ЗАЩИТЫ ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

**Потребители электрической энергии** (далее – потребители) – юридические лица, индивидуальные предприниматели или физические лица, владеющие на праве собственности или ином законном основании электроустановками [28].

Проведение проверок противопожарного состояния электроустановок потребителей осуществляется органами государственного пожарного надзора МЧС России (далее – ГПН), Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор), а также ответственным персоналом потребителя электрической энергии.

Проверки, проводимые сотрудниками **ГПН**, включают выявление нарушений требований Правил противопожарного режима в РФ [27], ТР [32], СП 6.13130.2021 [26] и иных нормативных документов по пожарной безопасности [30], касающихся вопросов обеспечения пожарной безопасности электроустановок напряжением менее 1000 В. При этом должностные лица ГПН не вправе проверять соблюдение требований Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии [28], ПУЭ [29] и других нормативных документов, отнесенных к компетенции органов Ростехнадзора.

В рамках контрольных мероприятий при осуществлении федерального государственного энергетического надзора в отношении потребителей должностными лицами **Ростехнадзора** проверяется выполнение Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии [28], Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок и т.д. [31].

Руководителем *юридического лица* – потребителя электрической энергии, назначается **ответственный за электрохозяйство** – лицо из числа административно-технического персонала, на которое возложены обязанности по организации проведения всех видов работ в электроустановках. Если потребитель является *индивидуальным предпринимателем* или *физическим лицом*, то обязанность по организации эксплуатации электроустановок, организации проведения всех видов работ в электроустановках возлагается непосредственно на него. К задачам, решаемым ответственным за электрохозяйство, относятся:

- организация разработки и ведения документации по вопросам организации эксплуатации электроустановок и ее актуализация;
- организация безопасного проведения всех видов работ в электроустановках, в том числе с участием работников организаций, выполняющих функции по оперативному и (или) техническому обслуживанию, ремонту, наладке, испытаниям электроустановок;
- обеспечение выполнения ремонта и технического обслуживания электроустановок;
- организация оперативного обслуживания электроустановок и ликвидации технологических нарушений в электроустановках;
- и др. [28].

**Обследование** электроустановки, с целью определения ее соответствия действующим правилам и нормам, может включать как визуальный осмотр на участках, доступных к наблюдению, так и применение измерительных приборов: амперметра, вольтметра, омметра, мегомметра, токоизмерительных клещей, детектора проводки, пирометра, а в некоторых случаях – тепловизора.

При комплексном обследовании помещений объекта чаще всего приходится иметь дело не с электроустановкой в целом, а с отдельными ее элементами: электродвигателями, светильниками, нагревательными приборами, проводками, а также пусковыми и защитными аппаратами.

Лучшие результаты можно получить при последовательном обследовании этих элементов. Последовательное обследование нужно начинать с электроприемников, далее переходить к питающим их проводкам, пусковым и защитным аппаратам. В последнюю очередь проверяется состояние защитного заземления или зануления. Для обследования необходимо уяснить особенности строительных конструкций и технологию данного производства.

Важно учитывать особенности классификации помещений по степени опасности – без знания этой классификации неизбежны ошибки, которые могут привести к усилению пожарной опасности или, наоборот, к необоснованному завышению пожарно-профилактических требований.

При проведении обследования электроустановок изначально необходимо произвести **классификацию помещений** по следующим признакам [29]:

- сухие, отапливаемые, с температурой не ниже +5 °С;
- сухие, неотапливаемые, с температурой ниже -5 °С;
- сырые, с относительной влажностью воздуха выше 75 %;
- особо сырые, с относительной влажностью воздуха, близкой к 100 % (в таких помещениях потолок, пол и предметы постоянно покрыты влагой или конденсатом);
- пыльные, с обильным постоянным или временным выделением негорючей токопроводящей или нетокопроводящей пыли, снижающей условия вентилирования;
- с химически активной средой, способной разрушать электрооборудование;
- пожароопасные, содержащие горючую пыль (невзрывоопасной концентрации), горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С, а также большое количество твердых горючих веществ и материалов;
- взрывоопасные, в которых по условиям технологического процесса выделяются горючие газы или пары легко воспламеняющихся

жидкостей, а также горючие волокна или пыль, переходящие во взвешенное состояние и образующие с воздухом взрывоопасные концентрации.

Характер среды необходимо учитывать как для объема всего помещения, так и для того места, где эксплуатируется электрооборудование. Так, например, центрифуга может стоять в сухом отапливаемом помещении, а ее двигатель – систематически подвергаться действию влаги. Поэтому электродвигатель и проводка к нему должны быть выбраны для эксплуатации в сырой среде.

Обследуя электрооборудование, учитывают горючесть изоляции и окружающих материалов, а также есть ли на электрооборудовании кожухи и другие ограждающие устройства.

### **6.1. Обследование электродвигателей**

При обследовании электродвигателей устанавливаются:

- характер окружающей среды, т.е. ее воспламеняемость и способность разрушать изоляцию;
- тип двигателя или машины и его соответствие окружающей среде;
- удаленность от находящихся в производстве горючих материалов;
- правильность ввода проводов внутрь корпуса;
- наличие на подшипниках скольжения крышек, которые не дают разбрызгиваться смазочному маслу;
- исправность защитного заземления или зануления;
- нагрев корпуса, опасность загорания от частей, которые нагреваются до высокой температуры;
- степень и опасность искрения контактных колец или коллектора;
- захламленность рабочего места горючими материалами (в том числе смазочными маслами, эмульсией и т.п.), а также запыленность, которая может нарушать условия охлаждения двигателя.

Обследование электродвигателей производится с помощью внешнего осмотра. Нагрев мощных электродвигателей и машин проверяется по специальным приборам (например, пирометром или тепловизором).

Конструкция электродвигателя должна быть выбрана в зависимости от окружающей среды (табл. 16).

Таблица 16 – Соответствие конструктивного исполнения электродвигателей помещениям

Характеристика помещения	Исполнение электродвигателя
Сырое помещение	Электродвигатель с влагостойкими изоляцией и защитой от капель воды
Пыльное помещение, когда пыль или волокна, оседающие на обмотках электродвигателя, нарушают охлаждение или же вредно действуют на изоляцию (в котельных, на цементных заводах и т.д.)	Электродвигатель закрытый или продуваемый чистым воздухом
Помещение сырое и пыльное	Электродвигатель закрытый
Помещение с горючей или проводящей пылью	Электродвигатель закрытый
Помещение с химически активной средой	Электродвигатель герметический или закрытый обдуваемый, продуваемый с кислотоупорной изоляцией
Пожароопасное помещение	Электродвигатель в пожаробезопасном исполнении (не менее IP44)
Взрывоопасное помещение	Электродвигатель во взрывобезопасном исполнении (с маркировкой «Ex»)

Электродвигатели и электрические машины с искрящими частями (контактными кольцами и коллектором) должны находиться вдали от сгораемых материалов на расстоянии не менее 1 м. Для подключения таких электродвигателей следует использовать провода и кабели с негорючей изоляцией.

Нагрузку мощных электродвигателей необходимо постоянно фиксировать амперметром с отметкой (в виде красной черты) максимально допустимого тока. Нельзя допускать эксплуатацию электродвигателей, потребляющих ток, больший предельного значения. Также не допускается эксплуатация электродвигателей, у которых наблюдается витковое



замыкание (характеризующееся местным нагревом), значительное искрение на контактных кольцах или коллекторе, или имеющих пробой на корпусе [9].

## **6.2. Обследование светильников**

При обследовании светильников необходимо проверить следующее:

- характер окружающей среды – ее воспламеняемость и способность разрушать изоляцию;
- тип светильника и его соответствие окружающей среде;
- огнестойкость отражателя или абажура;
- прочность подвески или крепления;
- правильность ввода проводов;
- наличие корпуса для патрона переносной лампы, колпака с сеткой и шлангового провода для питания этой лампы током;
- целостность защитных колпаков;
- исправность уплотнителей колпаков;
- нагрев включающих катушек (дросселей) люминесцентных светильников.

Прожекторы и светильники обследуются с помощью внешнего осмотра. Тип светильников можно определить по их особенностям. У светильников пылеводонепроницаемых, например, кроме стеклянных колпаков, есть резиновые уплотнительные кольца и герметизированный ввод. Светильники, предназначенные для сырых сред, имеют фарфоровый или пластмассовый корпус и отдельный ввод проводов. Взрывозащищенные светильники обладают массивными корпусами с нанесенными знаками взрывозащитности. В затруднительных случаях для определения типа светильника необходимо прибегнуть к паспортам или каталогам.

Таблица 17 – Соответствие конструктивного исполнения светильников помещениям

Характеристика помещения	Исполнение светильника
Сырое помещение	Корпус патрона должен быть из изолирующих влагостойких материалов. Все части светильника, доступные воздействию среды, должны быть защищены покрытиями
Пыльное помещение	В зависимости от количества и характера пыли должны применяться закрытые уплотненные или герметичные светильники
Помещение сырое и пыльное	
Помещение с горючей или проводящей пылью	
Помещение с химически активной средой	Все части светильников должны быть надежно защищены от коррозии
Пожароопасное помещение	Светильник должен быть в пожаробезопасном исполнении (не менее IP44)
Взрывоопасное помещение	Светильник должен быть во взрывобезопасном исполнении

### 6.3. Обследование пусковых аппаратов и аппаратов защиты

При обследовании пусковых и защитных аппаратов устанавливают:

- характер окружающей среды (ее способность возгораться, а также разрушать изоляцию);
- тип аппарата и его соответствие окружающей среде;
- соответствие рубильника или магнитного пускателя (по обозначенной на них силе тока) токоприемнику данной мощности;
- удаленность панели с токоведущими частями от сгораемых стен и других опорных поверхностей;
- несгораемость кожуха и панели, отсутствие на кожухе вырезов и плотность прикрепления его к панели;
- наличие в месте ввода в аппарат проводов изоляционных втулок или трубок;
- отсутствие в предохранителях перемычек («жучков») вместо плавких вставок;
- наличие на кожухе или внутренней части панели надписей величины номинального тока плавкой вставки или уставки защитного аппарата;

- соответствие номинального тока плавкой вставки (обязательно указывается на самой вставке) или уставки защитного аппарата сечению защищенных проводов;
- плотность подвижных и неподвижных контактов;
- прочность закрепления опорной поверхности и вертикальность установки.

При обследовании низковольтных распределительных щитов с рубильниками и предохранителями необходимо тщательно проверить, есть ли на подводящих проводах бирки с указанием марки провода или кабеля и сечения проводников, а также надписи на щитах отдельных ответвлений (фидеров). Это очень важно, так как по биркам можно судить, правильно ли выбраны провода и плавкие вставки предохранителей.

Кроме того, обследуются пусковые и защитные аппараты тоже с помощью внешнего визуального осмотра.

Тип пускового и защитного аппарата определяется по кожухам и способу их уплотнения.

Недопустимо, когда на панели или кожухе нет надписи величины номинального тока, по которой можно судить о правильности выбора плавкой вставки или уставки защитного аппарата.

При обследовании необходимо проверять следующее:

- открыто устанавливаются пусковые и защитные аппараты лишь на стационарных пускорегулирующих панелях, которые эксплуатируются в специальных электротехнических помещениях. В остальных случаях требуется, чтобы пусковые и защитные аппараты имели отдельный или общий для нескольких аппаратов кожух;
- в помещениях сырых, пыльных и с химически активной средой кожухи пусковых и защитных аппаратов должны быть уплотненными;
- панели и кожухи пусковых и защитных аппаратов не допускается изготавливать из сгораемых материалов (дерева, фанеры, фибры, картона и т.д.).

#### 6.4. Обследование электропроводок

При обследовании электропроводок устанавливаются:

- тип проводки по способу прокладки проводов и его соответствие данному помещению;
- марка провода, способ его прокладки и их соответствие типу проводки и окружающей среде;
- сечение провода и его соответствие нагрузке; прочность закрепления проводов на изолирующей опоре; удаленность проводов от стен, заземленных частей и предметов, а также от проводов другой полярности;
- правильность выполнения проходов через перегородки и перекрытия;
- плотность контактов в местах соединений проводов между собой и присоединений их к токоприемникам, аппаратам и приборам;
- состояние изоляции по внешним признакам (повреждения, изменение цвета изолирующих оболочек, нарушение эластичности и т.д.), ее надежность для дальнейшей эксплуатации; сопротивление изоляции проводов;
- запыленность и захламленность проводов горючими материалами.

Обследуются проводки с помощью внешнего визуального осмотра.

Марки и сечение проводов и кабелей определяются по биркам, имеющимся в распределительных устройствах. Если бирки отсутствуют, то можно установить сечение по проектам, исполнительным схемам или измерив диаметр жил провода с помощью микрометра или штангенциркуля.

Если в ходе обследования появится необходимость проверки соответствия сечения проводов к имеющейся нагрузке, то можно воспользоваться показаниями амперметра, включенного в обследуемую цепь, или переносных амперметром. Для проверки силы тока, протекающего в проводе, удобно применять измерительные клещи.

При обследовании проводок необходимо произвести выборочную проверку качества соединений проводов между собой, ее осуществляют, обязательно снимая напряжение.

Сопrotивление изоляции проводов проверяется в обязательном порядке, когда по внешним признакам она вызывает определенное сомнение (повреждения изоляции, ее хрупкость и т.д.). Это сопротивление устанавливают по протоколам соответствующих замеров. Выборочно сопротивление изоляции можно измерить мегомметром, не имея протоколов.

При измерении сопротивления изоляции в силовых цепях необходимо отключить приемники электроэнергии, а также аппараты, приборы и т.п. В осветительных проводках лампы должны быть вывинчены, предохранители удалены, а выключатели, штепсельные соединения и групповые щитки – присоединены. Сопротивление изоляции измеряется между проводами и каждым проводом и землей. В помещениях, характеризуемых сыростью, пылью, агрессивной или пожароопасной средой, проводка должна выполняться кабелем в неметаллической и металлической оболочках [29].

Медные жилы проводов и кабелей должны соединяться сваркой, пайкой, а также посредством винтовых, болтовых, клиновых и других зажимов. Алюминиевые жилы соединяются только пайкой или сваркой. Не допускается монтаж проводов или кабелей посредством скруток.

Когда проводка переходит в сырое помещение с иной температурой и влажностью, воронки заливаются с обеих сторон изолирующей массой. В случае перехода проводок из сухого в сырое место соединения различных проводок (например, шнуров с проводами) должны находиться в сухом помещении.

Проходы через деревянные стены и перегородки между сухими помещениями могут быть сделаны в изоляционных трубках с тонкой металлической оболочкой. Применять шнуры для проходов через перекрытия нельзя.

Стальные трубы и изоляционные трубки проводов и кабелей закрепляются скобами или хомутиками. Толстостенные стальные трубы могут быть приварены к конструкции. Наружная поверхность труб и оболочек для защиты от коррозии окрашивается.

Важно проверить, соответствует ли сечение провода подключенной нагрузке, важно, особенно когда провод проложен по сгораемым поверхностям и есть признаки (хрупкость изоляции, изменение цвета и т.п.), что он перегревается выше допускаемой температуры.

Эту проверку производят, одновременно устанавливая правильность выбора номинального тока плавкой вставки предохранителя или тока срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя.

Порядок проверки следующий:

**1-е действие:** по известным формулам или паспортным данным электроустановок находят нагрузку проводника (в амперах). Если электроустановок несколько и они включаются одновременно, их токи суммируются. Если они работают не одновременно, то учитывается коэффициент одновременности включения (коэффициент спроса).

**2-е действие:** по подсчитанной нагрузке на проводник находят номинальный ток уставки аппарата защиты, беря его ближайшее большее значение из стандартных значений

**3-е действие:** зная номинальный ток уставки аппарата защиты, находят наименьшее сечение проводника по условиям нагрева. При этом учитывается конструкция проводки (марка провода или кабеля, а также способ их прокладки).

**4-е действие:** если необходимо, проверяют, соответствует ли найденное из таблицы сечение проводника току нагрузки.

## 6.5. Обследование защитного заземления и зануления

Обследуя защитное заземление или зануление, устанавливают:

- необходимость заземления для данного электрооборудования;
- достаточность сечения заземляющего провода;
- прочность прикрепления заземляющего провода к заземляемому оборудованию и к заземляющей магистрали;
- правильность прокладки заземляющего провода по деревянным и оштукатуренным стенам;
- правильность использования конструкций трубопроводов и других металлических частей в качестве заземления;
- величину сопротивления заземления и периодичность его измерения.

Все это обследование, кроме проверки сечения заземляющего провода и сопротивления заземления, производится с помощью внешнего осмотра. Диаметр или сечение заземляющих, или зануляющих, проводов и шин можно измерить любым измерительным инструментом. Сопротивление заземления устанавливается по протоколам последних замеров приборами или по техническому паспорту на заземление.

При проведении обследования систем заземления особое внимание следует уделить тем случаям, когда в качестве заземления используется открытые проводящие части и металлические конструкции зданий и сооружений (табл. 18).

Таблица 18 – Требования к устройству заземления

Виды используемых в качестве заземления конструкций	Условия, допускающие использование	Дополнительные указания
Металлические конструкции здания (фермы, колонны, прогоны, связи)	Непрерывность электрической цепи по всей длине	Соединение отдельных участков металлических конструкций производится посредством привариваемой к ним стальной шины сечением не менее 100 мм
Металлические конструкции производственного назначения (стальные балки, подкрановые пути, каркасы распределительных устройств и т.п.)	Надежность контактов в соединениях  Доступность для наблюдения  Наличие по всей трассе отчетливой условной окраски	Использование металлических оболочек кабелей в качестве рабочих нулевых проводов не допускается
Стальные грубы, несущие проложенные в них провода  Стальные короба шинных сборок  Тросы, поддерживающие провода	Должны пропускать расчетный ток	Не должны использоваться в качестве заземляющих проводов трубопроводы с горючими жидкостями и взрывоопасными газами и веществами, железнодорожные рельсы, арматура железобетонных сооружений, а также системы центрального отопления

### 6.6. Обследование взрывоопасных помещений и наружных установок

Пожарная опасность взрывоопасных помещений и наружных установок характеризуется возможностью взрыва газо-паро-пылевоздушных взрывчатых смесей, когда внутри или вблизи помещения применяется обычное, невзрывозащищенное или взрывозащищенное (но с меньшей, чем необходимо, надежностью защиты) электрооборудование. Пожарная опасность в значительной степени зависит от того, надежно ли смонтировано электрооборудование и правильно ли оно эксплуатируется.

Обследуя электроустановки взрывоопасных помещений или наружные взрывоопасные установки, определяют следующее:



- характер обращающихся в производстве взрывоопасных веществ: температура вспышки, температура самовоспламенения, токсичность, плотность (удельный вес) и окислительная способность;
- класс помещения или наружной взрывоопасной установки в зависимости от требований, предъявляемых к электрооборудованию, и от характера обращающихся взрывоопасных веществ;
- возможность образования в помещении или вблизи наружной взрывоопасной установки под влиянием технологического процесса взрывчатых смесей (возможно ли это в нормальных эксплуатационных условиях или только при аварийном состоянии).

Признаки, позволяющие снизить класс взрывоопасного помещения:

- соответствие взрывозащищенности электродвигателей, светильников, пусковых и других аппаратов и приборов (по знакам взрывозащищенности на корпусах) классу взрывоопасного помещения или наружной установки;
- правильность использования обычного, невзрывозащищенного электрооборудования, размещенного внутри взрывоопасного помещения или вблизи наружной установки;
- отсутствие искрящих аппаратов или их частей внутри взрывоопасного помещения или вблизи наружной установки;
- герметичность места ввода питающих проводов внутри электродвигателей, аппаратов и приборов;
- наличие в электродвигателе, «продуваемом при избыточном давлении», избыточного давления чистого воздуха и блокировки, которая обеспечивает пуск электродвигателя позднее включения вентилятора и остановку раньше прекращения работы вентилятора;
- надежность защиты проводов от механических повреждений, проникновения влаги или химически активной среды;
- герметичность труб, соединительных и разветвительных коробок (фитингов) с проложенными в них проводами;

- герметичность сальниковых или торцевых уплотнений в местах, где валы электродвигателей и управляющих штанг аппаратов проходят через стены взрывоопасных помещений;
- отсутствие кабельных каналов или наличие в них засыпки из песка внутри взрывоопасного помещения или вблизи наружной установки, если обрабатываемые или хранимые газы или пары имеют удельный вес выше удельного веса воздуха (более единицы);
- отсутствие джутовой оплетки на кабелях, проложенных внутри взрывоопасного помещения или вблизи наружной установки;
- действительный нагрев корпусов электродвигателей и светильников в исполнении «повышенной надежности против взрыва», т.е. степень загрузки электродвигателя или соответствие мощности лампы, ввернутой в светильник.

### **6.7. Обследование пожароопасных помещений и наружных установок**

Пожарная опасность электроустановок пожароопасных помещений характеризуется возможностью загорания обращающихся в них твердых горючих веществ и горючих жидкостей от электрооборудования, незащищенного или недостаточно защищенного оболочками или кожухами.

Обследуя электроустановки пожароопасных помещений, устанавливают:

- характер обращающихся в производстве веществ и их свойства (горючесть, измельченность, температура вспышки);
- класс пожароопасного помещения с точки зрения опасности от электрооборудования;
- соответствие исполнения электрооборудования классу пожароопасного помещения (защищенность от проникновения внутрь пыли, волокон, горючих жидкостей);

- безопасность использования искрящего открытого электрооборудования, в том числе троллеев, переносного электроинструмента, переносных ламп, нагревательных приборов и т.п.;
- наличие защитных приспособлений, предохраняющих электродвигатели и их провода от действия смазочных масел (в текстильной промышленности);
- возгораемость кожухов, закрывающих электрооборудование;
- надежность защиты проводок от механических повреждений (с помощью бронированных кабелей, проводов, проложенных в трубах, и т.п.);
- обособленность мест, где эксплуатируются электронагревательные приборы;
- факт захламленности электрооборудования горючими материалами, отходами, а также готовой продукцией.

Все перечисленное устанавливается с помощью внешнего осмотра.

## **6.8. Обследование электропомещений**

К электропомещениям относятся подстанции и распределительные устройства напряжением до и свыше 1000 В и посещаемые лишь обслуживающим электротехническим персоналом.

Пожарная опасность электропомещений характеризуется, главным образом, возможностью загораний трансформаторного масла, находящегося в трансформаторах, в масляных выключателях и статических конденсаторах.

В современных электрических аппаратах большой мощности трансформаторное масло применяется в количестве, исчисляемом тоннами. Поэтому при обследовании электропомещения нужно проверять, приняты ли достаточные меры против пожаров в случаях, связанных с загоранием масла.

Обследуя электропомещения, устанавливают:

- наличие и качество слоя гравия или щебня на площадках открытой установки трансформаторов и масляных выключателей, а также устройств по отводу масла при возможной аварии;
- степень огнестойкости обособленных или встроенных электропомещений;
- наличие маслоприемников в виде ям, приемков и пандусов под трансформаторами, масляными выключателями и статическими конденсаторами закрытых подстанций и распределительных устройств;
- достаточность средств пожаротушения вблизи маслonaполненных аппаратов;
- достаточность мер пожарной безопасности, принятых в помещениях масляного хозяйства.

Толщина слоя гравийной засыпки определяется замером, а качество – по цвету засыпки (на ней не должно быть загрязнений). Вес масла в маслonaполненных аппаратах устанавливается по паспортным табличкам данных аппаратов.

Электропомещения должны быть 1-й или 2-й степени огнестойкости. Чаще всего капитальные стены в них делают кирпичными, а перегородки и перекрытия – железобетонными.

Двери из электропомещений, где эксплуатируются маслonaполненные трансформаторы и масляные баковые выключатели, делаются несгораемыми или трудносгораемыми. Такими же должны быть двери, делящие отсеки помещений распределительных устройств, в частности взрывных коридоров, или выходящие в помещения, которые не относятся к подстанции.

## **6.9. Обследование аккумуляторных помещений**

Пожарная опасность аккумуляторных помещений характеризуется возможностью взрыва газа водорода (пределы взрыва: нижний 4 %, верхний

75 % по объему), выделяющегося при зарядке как свинцовых (кислотных), так и щелочных аккумуляторов. Повышает пожарную опасность и электролит в виде серной кислоты. При соприкосновении кислоты с органическими веществами (дерево, ткани) она обугливает их; при этом выделяется значительное количество тепла.

Так как опасность взрыва и пожара в аккумуляторных помещениях зависит от количества, выделяющегося в них водорода, то специалист, проводящий обследование, в первую очередь устанавливает, действительно ли аккумуляторное помещение является взрывоопасным.

Кроме выявления степени взрывоопасности, в стационарных аккумуляторных помещениях и взрывоопасных и невзрывоопасных необходимо дополнительно проверить:

- наличие механической вентиляции;
- обособленность вентиляционного стояка от прочей вентиляционной системы, дымоходов и т.п.;
- место расположения вытяжного вентилятора и его исполнение;
- исправность системы отопления;
- соответствие исполнения электрооборудования и возможность его эксплуатации в водородовоздушной среде (если помещение взрывоопасно) или в химически активной среде (если помещение отнесено к числу невзрывоопасных);
- наличие совершенно изолированной от аккумуляторного помещения комнаты для хранения кислоты и приготовления в ней электролита.

Все это устанавливается с помощью внешнего осмотра. Кроме того, аккумуляторные помещения должны быть сухими, светлыми, с надежной гарантией от сотрясений. Установка в одном помещении щелочных и свинцовых аккумуляторов не допускается. Стены и потолок аккумуляторного помещения, двери и оконные рамы, вентиляционные короба, металлические конструкции, стеллажи и другие части окрашиваются кислотоупорной краской. При щелочных аккумуляторах окраска помещения и металлических

конструкций не обязательна; стеллажи могут быть покрыты битумным лаком.

Полы помещения должны быть горизонтальными, на бетонном или кирпичном основании и иметь покрытие, не подвергающееся действию электролита.

Для удаления газов и паров электролита аккумуляторное помещение оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией. Удалять водород следует из верхней части помещения.

#### **6.10. Обследование защитных устройств от статического электричества**

При обследовании средств защиты от проявления статического электричества необходимо установить:

- электризующую способность обрабатываемого материала;
- места аппаратов, механизмов и рабочих столов с наибольшей степенью электризации и возможность близкой опасности взрыва или пожара;
- наличие и состояние заземления для отвода зарядов статического электричества;
- достаточность увлажнений местного (участок с наибольшей электризацией) и в объеме всего помещения (увлажнение не должно нарушать технологического процесса производства);
- надежность снятия зарядов с помощью специальных устройств: токоснимающих щеток, емкостных пластинок и сеток, ионизаторов, радиоактивных веществ;
- абсолютность чистоты рабочих столов, мест машин и аппаратов с наибольшей электризацией;
- отсутствие ременных передач во взрывоопасных помещениях; периодичность профилактической проверки заземления и других защитных устройств.

Электризующие свойства обращающихся веществ устанавливаются в ходе изучения технологического процесса, данных технологов и сведений обслуживающего персонала. При этом сопоставляется количество наблюдавшихся разрядов до и после установки защитных устройств.

При обследовании защитных устройств от статического электричества необходимо учесть следующие требования и рекомендации:

- сопротивление заземления должно быть не выше 4 Ом;
- для местного увлажнения пускают пар к участку с наибольшей электризацией, устанавливают под ним противни с водой или систематически смачивают пол и отдельные части оборудования;
- в помещениях взрывопожароопасных, где есть электризация, относительная влажность воздуха не должна быть ниже 70 %;
- при 85 % наблюдается наименьшая степень электризации веществ. Снижает электризацию добавка в обрабатываемые материалы проводящих или полупроводящих веществ;
- во взрывоопасных помещениях, как и в пожароопасных, где от разряда статического электричества могут загореться материалы, нельзя применять ременные передачи. Приводные ремни ременных передач, применяющихся в пожароопасных помещениях в виде исключения, должны систематически смазываться специальной токопроводящей мастикой;
- в хранилищах нефтепродуктов сливные или наполнительные магистрали трубопроводов следует довести до дна. Между стыками трубопроводов делаются перемычки из медных проводников;
- переносные сливные и наливные устройства на концах должны иметь металлический, искробезопасный (медный, латунный и т.п.) наконечник, соединенный с системой заземления гибким многожильным медным проводником, который пропущен внутри гибкого шланга или обвит вокруг него.

## **6.11. Обследование устройств молниезащиты**

При обследовании устройств молниезащиты устанавливают:

- категорию объекта по способу выполнения грозозащитных устройств;
- наличие и состояние молниеотводов;
- наличие, а также состояние заземления металлической крыши, оболочек резервуаров, газгольдеров и т.п.;
- способ прокладки токоотвода по сгораемым поверхностям и его опасность;
- наличие заземления у штырей и крючьев изоляторов, опор воздушных линий, особенно приближающихся к объекту;
- величину сопротивления заземлений молниеотводов, а также периодичность его измерения.

Обследование грозозащитных устройств производится внешним осмотром.

## **6.12. Обследование электроустановок жилых, общественных и административных зданий**

Пожарная опасность электроустановок жилых, общественных и административных зданий характеризуется возможностью загораний от электрооборудования вследствие его неправильного монтажа собственными силами, неправильной эксплуатации и отсутствия систематического контроля со стороны электротехнического персонала.

При обследовании электроустановок жилых и гражданских зданий, устанавливают:

- степень нагрузки электропроводок (имеется ли перегрузка);
- состояние изоляции проводов по внешним признакам (хрупкость, явные повреждения, изменение цвета);



- провисание проводов на изолирующих опорах и наличие на них посторонних предметов;
- наличие ответвлений от проводов, выполненных собственными силами жильцов или электриков с нарушениями правил и норм;
- наличие проводов, скрытых коврами, картинами, порттьерами и мебелью;
- тип удлинителя шнуров и безопасность его применения в данном месте;
- наличие не разрешаемых по условиям пожарной безопасности разветвительных штепсельных вилок более чем на две пары гнезд, комбинированных патронов со штепсельными гнездами;
- правильность выполнения ввода проводов в здание;
- периодичность осмотров осветительных электросетей и замеров сопротивления изоляции;
- наличие общего защитно-коммутационного аппарата для выключений всех электросетей или части из них и порядок этих выключений.

### **6.13. Обследование зданий культурно-досуговой деятельности**

Пожарная опасность электроустановок зданий культурно-досуговой деятельности характеризуется возможностью загораний сценической части вследствие применения здесь большого количества переносных и подвижных светильников.

При обследовании **зрительных залов, фойе, кулуаров, танцполов, игротек, кладовых** и других помещений, устанавливают:

- скрыта ли проводка под слоем штукатурки, достаточно ли защищена ее изоляция от механических повреждений (это требование относится и к таким сооружениям, как стенды, витрины и т.д.);

- достаточно ли удалены лампы накаливания, а также колпаки светильников от портьер и других сгораемых декоративных устройств и украшений;
- надежно ли закрыты пусковые, включающие и защитные аппараты кожухами или размещены в нишах;
- надежно ли действует эвакуационное аварийное освещение, когда прекращается подача электроэнергии с основного пункта питания;
- имеются ли действующие световые сигналы – указатели «Эвакуационный выход» и другие световые указатели, облегчающие быструю эвакуацию людей в аварийных случаях.

При обследовании **сценической части** устанавливают:

- защищены ли неподвижные проводки стальными трубами, несгораемыми кожухами или броней (когда применяется кабель);
- имеются ли металлические или защищенные от возгорания кожухи с крышками на щитках, расположенные по стенам сцены и в полу планшета;
- имеются ли шланговые провода для питания переносных театральных осветителей и специальные (театральные) штепсельные соединения на концах проводов;
- достаточно ли удалены подвесные софиты от декораций (не ближе 0,5 м);
- защищено ли от возгорания дерево в местах установки рамповых светильников (обшивка металлом по асбесту);
- надежна ли гарантия от возгораемости целлофановых светофильтров, применяемых на сцене и в осветительных ложах (устанавливается по документам завода-изготовителя);
- надежно ли действуют механизмы опускания противопожарного занавеса и открывания дымовых люков.

Осмотр электрооборудования клубов, кино- и театральных электроустановок осуществляется внешним способом. Действие механизмов

опускания противопожарного занавеса, крышек дымовых люков, а также аварийного освещения проверяется пробными включениями, которые производит местный электротехнический персонал, при этом пробные включения во время сеанса или спектакля не допускаются.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Объясните роль надзора в обеспечении пожарной безопасности электроустановок.
2. На что следует, прежде всего, обращать внимание при обследовании электродвигателей, светильников и заземляющих устройств?
3. Что подлежит визуальному осмотру при обследовании электроустановок зданий с массовым пребыванием людей?
4. Как можно выяснить параметры электроустановки, если их невозможно определить визуальным путем?
5. Какие существуют способы измерения температуры действующих электроустановок?

## 7. ОСОБЕННОСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Снабжение электрической энергией приемников предприятий нефтегазовой отрасли [42] осуществляется с помощью систем **внешнего** и **внутреннего** электроснабжения.

Системы **внешнего** электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли располагаются за пределами территории предприятий и включают в себя электрические станции, вырабатывающие электроэнергию, и электрические сети, поставляющие электроэнергию непосредственно на объекты нефтегазового комплекса. Электрическая сеть представляет собой совокупность трансформаторных подстанций и линий электропередач различного напряжения, соединяющих электрическую станцию и главную понижающую подстанцию нефтяного предприятия, которая является приемным пунктом электрической энергии на территории нефтяного предприятия.

Системы **внутреннего** электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли включают главные понижающие подстанции, распределительные устройства и электрические распределительные сети различного напряжения, проложенные на территории предприятий.

Электрическая энергия с повышающей подстанции на напряжении 110, 220, а в ряде случаев 35 кВ передается на нефтепромыслы с помощью воздушных линий электропередач (далее – ЛЭП).

Основными элементами ЛЭП являются: опоры, провода, защитные тросы, изоляторы, арматура для крепления проводов на изоляторах и изоляторов на опорах.

Опоры предназначены для подвешивания проводов на высоте, безопасной для населения, транспорта, животных, поэтому они должны

иметь определенную высоту, а также быть устойчивыми к внешним воздействиям (ветер, гололед).

Опоры ЛЭП выполняются из дерева, железобетона и стали.

*Деревянные* опоры характеризуются простотой и невысокой стоимостью. Однако вследствие гниения древесины срок их службы невелик и составляет 5–10 лет. Пропитка опор антисептиком позволяет увеличить срок службы до 15–20 лет.

Опоры из *железобетона* долговечны, просты в обслуживании и в последнее время являются основным типом опор при строительстве воздушных линий электропередач.

*Металлические* опоры при установке требуют сооружения железобетонных фундаментов, а при эксплуатации – периодической покраски.

Различают следующие виды опор: промежуточные, анкерные, концевые, угловые, специальные.

**Промежуточные опоры** – самый распространенный вид опор, которые предназначены для поддержания проводов на определенной высоте. Провода на промежуточных опорах закрепляются таким образом, чтобы в случае обрыва они могли проскальзывать в зажимах. Такое техническое решение позволяет устранить действие на промежуточные опоры односторонних сил и изгибающего момента, созданного этими силами. Промежуточные опоры по сравнению с другими типами опор несут наименьшую механическую нагрузку и поэтому имеют самую простую конструкцию. Расстояние между двумя промежуточными опорами называется пролетом. Величина пролета для промежуточных опор составляет 50–70 м.

**Анкерные опоры** предназначены для жесткого закрепления проводов ЛЭП. Расстояние между соседними анкерными опорами называется анкерным пролетом, длина их, например, в линиях напряжением 10 кВ, составляет 3–5 км. При аварии, вызванной обрывом проводов внутри анкерного пролета, авария локализуется пределами данного анкерного

пролета. Анкерные опоры пролета, где произошел обрыв, по причине жесткого закрепления проводов подвергаются действию сил натяжения проводов предшествующего и последующего анкерных пролетов. При проведении механических расчетов анкерных опор исходят из возможности обрыва одновременно двух проводов, так как в этом случае силы натяжения проводов и изгибающие моменты, ими обусловленные, максимальны по величине. Вариант одновременного обрыва всех трех проводов анкерного пролета маловероятен и при выполнении механических расчетов анкерных опор не рассматривается.

**Концевые опоры** устанавливаются в начале и конце линии. Такие опоры, с одной стороны, нагружены проводами пролета нормальной длины, а с другой стороны, нагрузка практически отсутствует, так как провода на вводе в подстанцию и на выходе с подстанции, у которых начинается и заканчивается линия, значительно короче проводов в пролете. С целью уравнивания усилий, действующих на концевые опоры, к опорам закрепляются подкосы или оттяжки.

**Угловые опоры** устанавливаются в местах, где ЛЭП изменяет свое направление. При малых углах поворота ЛЭП в качестве угловых могут использоваться промежуточные опоры. Если же угол поворота значителен, то необходимо применять опоры специальной конструкции, способные выдерживать усилия односторонней направленности. Для разгрузки угловых опор от действия сил односторонней направленности используются подкосы и оттяжки, которые, как правило, изготовлены в виде стального троса. Угловые опоры обычно выполняют и роль анкерных опор, так как провода на них крепятся глухими зажимами.

К группе опор *специальных* конструкций относятся: переходные опоры, опоры для осуществления ответвлений и транспозиционные опоры.

**Переходные опоры** устанавливаются на переходах через дороги, реки, ущелья и другие препятствия. Конструкция их значительно сложнее

обычных опор. Они изготавливаются по специальным проектам, на разработку которых расходуются значительные средства.

**Выполнение ответвлений** от магистральных линий осуществляется на специальных опорах, которые устанавливаются в начале ответвлений. После этих опор идут обычные промежуточные и анкерные опоры. Конструкция опор для производства ответвлений аналогична конструкции анкерных или концевых опор.

**Транспозиционные опоры** предназначены для выполнения замены местами линейных проводов трёхфазной системы напряжений.

**Провода** воздушных линий электропередач предназначены для передачи по ним электрического тока.

По *конструктивному исполнению* различают следующие виды проводов:

- провода сплошного сечения из меди или стали, выполненные из одной проволоки;
- провода из меди, алюминия или стали, состоящие из 7, 19 или 37 проволок, скрученных между собой;
- провода, скрученные из ряда проволок, одна часть из которых выполнена из одного металла, а другая часть – из другого металла.

К примеру, провода марки АС имеют стальной сердечник из 1, 7 или 19 проволок, вокруг которого располагается алюминиевая часть из 6 или 28 проволок. Алюминиевые проволоки обладают высокой электрической проводимостью и являются токоведущей частью этих проводов. Электропроводимость стальных проволок мала и поэтому в электрических расчетах таких проводов не учитывается. Механическую нагрузку проводов марки АС воспринимают алюминиевые и стальные проволоки. Так, при отношении сечения алюминиевых проволок к сечению стальных проволок 5,5–6,0 алюминиевые проволоки воспринимают 50–60 % нагрузки. Остальная часть нагрузки приходится на стальной сердечник.

На практике при сооружении воздушных линий электропередач в подавляющем большинстве случаев применяются многопроволочные неизолированные провода из алюминия (марка А) или из алюминия со стальным сердечником (марка АС). Предприятия электротехнической промышленности осуществляют производство проводов следующих сечений: 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 600; 700 мм<sup>2</sup>.

**Защитные тросы.** Наиболее частой причиной выхода ЛЭП из работы являются грозовые поражения. В линиях электропередач напряжением 110 кВ и выше, проложенных на металлических и железобетонных опорах, для защиты от грозовых поражений используются стальные тросы, которые прокладываются по верхним частям опор и крепятся к ним при помощи изоляторов. Изоляторы шунтируются искровыми промежутками размером 40 мм. Стальной трос заземляется на всех опорах.

**Изоляторы и линейная арматура.** Изоляторы ЛЭП изготавливаются из фарфора или закаленного стекла. Данные материалы характеризуются высокой электрической и механической прочностью и обладают необходимой стойкостью к атмосферным воздействиям.

Электрическая энергия по линии электропередач напряжением, как правило, 110 кВ поступает на главную понижающую подстанцию нефтепромысла (далее – ГПП), задачей которой является понижение напряжения до величины 6 или 10 кВ, на котором осуществляется работа высоковольтных асинхронных и синхронных электрических двигателей. На ряде нефтепромыслов ряд центров электрических нагрузок, например буровые установки, с помощью которых производится бурение кустов скважин, располагается на расстоянии 30–50 км от ГПП. В этом случае распределение электрической энергии внутри нефтепромысла должно осуществляться на двух напряжениях – 10 и 35 кВ.

Главная понижающая подстанция нефтепромысла состоит, как и повышающие подстанции электрических станций, из следующих **узлов**: распределительного устройства (далее – РУ) высшего напряжения,



трансформаторов и РУ низшего напряжения. При распределении электрической энергии внутри нефтепромысла на двух напряжениях 6(10) и 35 кВ к упомянутым трем узлам добавляется четвертый узел: РУ среднего по величине напряжения.

Отличие ГПП нефтяного предприятия от повышающих подстанций электрических станций заключается в следующем.

На ГПП прием электрической энергии производится РУ высшего напряжения открытого типа, а распределение электрической энергии внутри нефтепромысла осуществляется в общем случае через РУ низшего и среднего напряжений, первое из которых закрытого типа, а второе – открытого типа или в закрытых шкафах, установленных на открытом воздухе. Кроме того, трансформаторы ГПП нефтепромыслов являются понижающими.

На рис. 73 приведена примерная схема ГПП нефтепромысла.

Электрическая энергия трехфазного переменного напряжения  $U_1$  поступает на главную понижающую подстанцию по двум воздушным линиям электропередач ЛЭП № 1, ЛЭП № 2. Это обусловлено тем, что объекты предприятий нефтяной и газовой промышленности отнесены к I-й категории электроснабжения. Энергия от линий электропередач через разъединители  $QS1$ ,  $QS2$  подается на сборные шины подстанции.

Сборные шины выполнены в виде двух секций, между которыми включены секционные разъединители –  $QS3$ ,  $QS4$ . Включение разъединителей  $QS3$ ,  $QS4$  может потребоваться, например, в случае аварии на одной из линий электропередач для осуществления работы трансформаторов подстанции по оставшейся в работе линии.

Обмотки высшего напряжения трансформаторов подключаются к сборным шинам напряжением  $U_1$  посредством отделителей  $QR1$ ,  $QR2$  и короткозамыкателей  $QN1$ ,  $QN2$ . Отделители в совокупности с короткозамыкателями заменяют собой дорогостоящие выключатели мощности и позволяют отключать трансформаторы в случае возникновения незначительных повреждений в процессе их работы.

Обмотки низшего напряжения трансформаторов соединены со сборными шинами низшего напряжения  $U_2$  посредством выключателей мощности  $Q1, Q2$ .

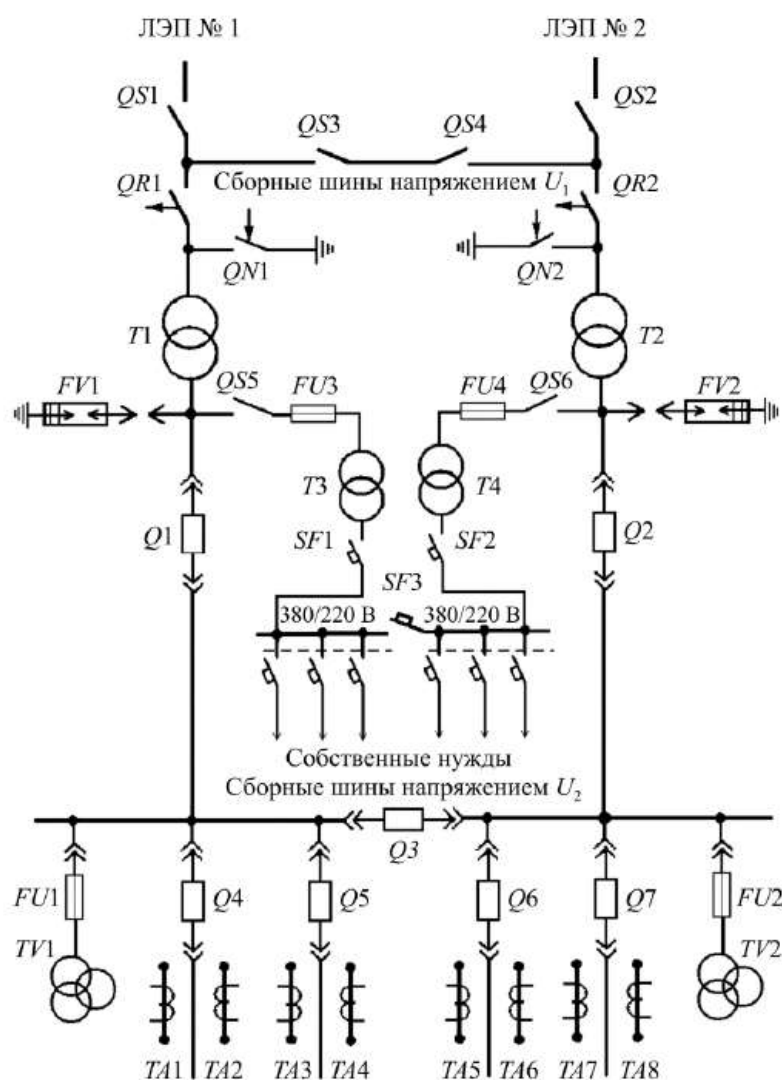


Рисунок 73 – Схема ГПП нефтепромысла

Сборные шины низшего напряжения  $U_2$  выполнены в виде двух секций, между которыми установлен секционный выключатель мощности  $Q3$ . В нормальном режиме работы выключатель мощности  $Q3$  находится в отключённом состоянии и напряжение на одну секцию шин подается от трансформатора  $T1$ , а на другую секцию – от трансформатора  $T2$ . При аварии или при проведении плановых работ на одном из трансформаторов секционный выключатель  $Q3$  включается и обе секции шин низшего

напряжения  $U_2$  оказываются подключенными к оставшемуся в работе трансформатору.

К шинам секций низшего напряжения  $U_2$  через выключатели мощности  $Q4, Q5, Q6, Q7$  подключаются кабельные линии, по которым осуществляется передача электрической энергии отдельным высоковольтным потребителям или в центры электрических нагрузок, например на буровые установки, к кустам скважин и т.д. В последних двух случаях кабели при выходе с подстанции подключаются к воздушным линиям, по которым и осуществляется доставка электрической энергии на буровые, к кустам скважин и другим центрам электрических нагрузок. В две фазы каждой из отходящих линий включены первичные обмотки измерительных трансформаторов тока  $TA1, TA2; TA3, TA4; TA5, TA6; TA7, TA8$ . К секциям шин низшего напряжения  $U_2$  через плавкие предохранители  $FU1, FU2$  присоединяются первичные обмотки измерительных трансформаторов напряжения  $TV1, TV2$ . Разрядники  $FV1, FV2$  осуществляют защиту электрических цепей низшего напряжения  $U_2$  от перенапряжений.

Для распределения электрической энергии между потребителями буровой установки применяются комплектные распределительные устройства.

Комплектное распределительное устройство состоит из нескольких ячеек, каждая из которых представляет металлический шкаф с размещенным внутри высоковольтным электрическим оборудованием.

На рис. 74 представлена электрическая схема распределительного устройства, состоящего из шести ячеек.

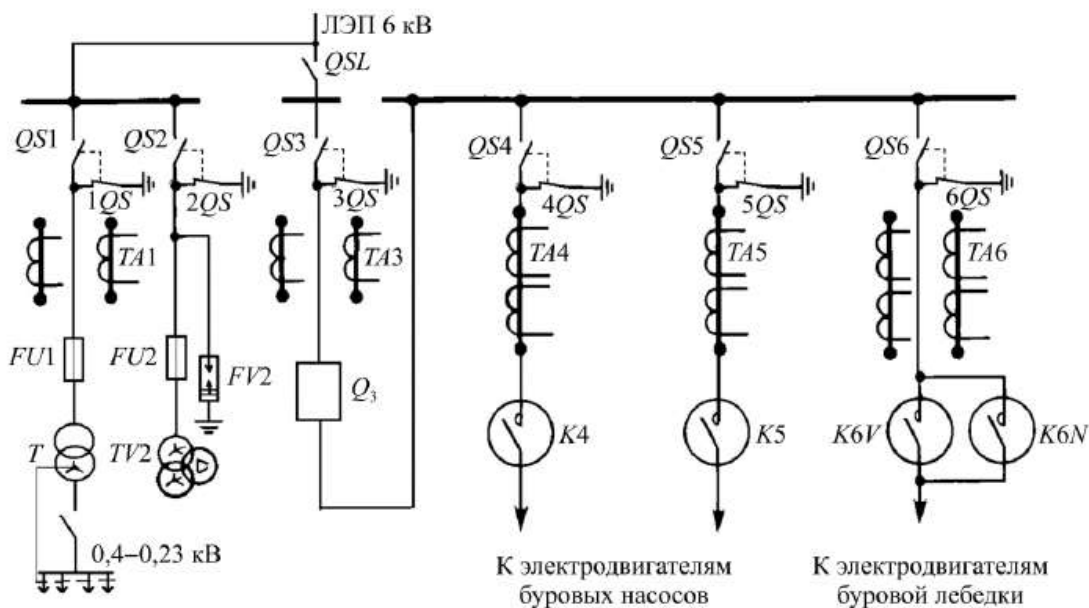


Рисунок 74 – Электрическая схема распределительного устройства буровой установки (пример)

Посредством электрооборудования, размещенного в ячейке № 1, осуществляется работа бурового трансформатора  $T$ , который предназначен для преобразования трехфазного переменного напряжения 6 кВ в трехфазное переменное напряжение 380/220 В. Напряжение 380 В необходимо для работы асинхронных электрических двигателей вспомогательных механизмов буровой установки. Напряжение 220 В используется для питания ламп электрического освещения и работы электрифицированного инструмента.

Электрическая энергия к ячейке № 1 подводится по проводам воздушной ЛЭП напряжением 6 кВ. Для подключения линии на крыше ячейки № 1 устанавливаются три проходных изолятора. Внутри ячейки размещаются разъединитель  $QS1$ , предохранители  $FU1$  и два трансформатора тока  $TA1$ . Разъединитель и предохранители устанавливаются на опорных изоляторах, которые посредством болтов прикрепляются к металлическому корпусу ячейки. В ячейке № 2, электрическая энергия к которой подводится из ячейки № 1 посредством шин, размещаются разъединитель  $QS2$ , предохранители  $FU2$ , измерительный трехобмоточный трансформатор напряжения  $TV2$ , а также разрядники  $FV2$ .

С помощью измерительного трехобмоточного трансформатора *TV2* осуществляется преобразование напряжения 6 кВ в напряжение 100 В. Напряжение 100 В требуется для питания обмоток напряжения вольтметров, счетчиков учета потребления электрической энергии, реле систем защиты и т.д. Разъединитель *QS2* обеспечивает безопасность обслуживающего персонала при проведении профилактических и ремонтных работ на трансформаторе *TV2*, а предохранители *FU2* защищают трансформатор от перегрузки и коротких замыканий. Разрядники *FV2* осуществляют защиту электрооборудования буровой установки от перенапряжений, которые могут возникать во время грозы.

Ячейка № 3 отводится под выключатель мощности  $Q_3$  (масляный или вакуумный), с помощью которого производится управление потоком электрической энергии, идущим к электродвигателям, рассчитанным для работы от сети напряжением 6 кВ. Электрическая энергия в ячейку № 3 подводится из питающей сети напряжением 6 кВ через линейный разъединитель *QSL*, который устанавливается на опоре ЛЭП, ближайшей к месту размещения распределительного устройства. Ввод электрической энергии в ячейку № 3 осуществляется через проходные изоляторы, закрепленные на крыше ячейки. Внутри ячейки, помимо выключателя мощности, устанавливаются шинный разъединитель *QS3* и два измерительных трансформатора тока *TA3*.

Из ячейки № 3 электрическая энергия по шинам поступает в ячейки № 4, 5, 6. Через ячейки № 4, 5 производится управление работой электродвигателей буровых насосов. В этих ячейках размещаются шинные разъединители *QS4*, *QS5*, измерительные трансформаторы тока *TA4*, *TA5* и магнитные или вакуумные контакторы *K4*, *K5*.

Контакторы *K4*, *K5* рассчитаны на работу от сети напряжением 6 кВ. Они предназначены для оперативных включений и отключений электродвигателей буровых насосов, что требуется по условиям технологического процесса. С помощью электрооборудования,

установленного в ячейке № 6 (шинный разъединитель *QS6*, два измерительных трансформатора тока *TA6*, контакторы *K6V*, *K6N*), производится управление работой электродвигателя буровой лебедки. Контактор *K6V* осуществляет подключение электродвигателя буровой лебедки к питающему напряжению для реализации режима подъема колонны труб, а контактор *K6N* – для спуска.

На ряде буровых установок работа буровой лебедки осуществляется от двух электрических двигателей. В этом случае для управления работой второго электродвигателя рядом с ячейкой № 6 устанавливается пусковое устройство. Электрооборудование пускового устройства и его электрическая схема идентичны электрооборудованию и электрической схеме ячейки № 6.

Остановка скважин, связанная с нарушением подачи электрической энергии наземному или подземному электрооборудованию, приводит в большинстве случаев только к потере объемов добываемой жидкости и не вызывает аварийных или пожароопасных ситуаций. Поэтому электроснабжение электрооборудования одиночных скважин и их кустов осуществляется, как правило, по III-й категории, т.е. от одного источника электрической энергии (рис. 75). Таким источником в системе внутреннего электроснабжения нефтепромысла является главная понижающая подстанция.

В соответствии со схемой, представленной на рис. 75, распределение электрической энергии между отдельными скважинными насосными установками производится на напряжении 0,4 кВ.

Для получения напряжения 0,4 кВ используются комплектные трансформаторные подстанции (КТП) напряжением 6(10)/0,4–0,23 кВ. Фазы вторичных обмоток трансформаторов КТП соединяются по схеме «звезда» с выведенной нейтральной точкой, что позволяет наряду с напряжением 0,4 кВ получить напряжение 0,23 кВ.

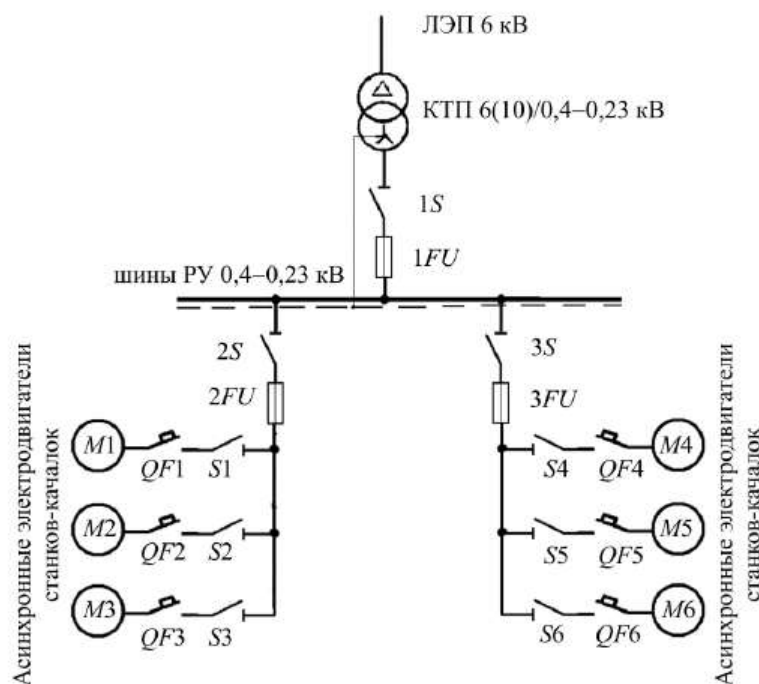


Рисунок 75 – Схема электроснабжения электродвигателей штанговых скважинных насосных установок

Распределительное устройство напряжением 0,4–0,23 кВ подключается к вторичной обмотке трансформатора КТП через рубильник 1S и плавкие предохранители 1FU.

Подключение магистральных линий, отходящих от распределительного устройства напряжением 0,4–0,23 кВ, осуществляется с помощью рубильников 2S, 3S и плавких предохранителей 2FU, 3FU.

Асинхронные электрические двигатели M1–M6, установленные на станках-качалках, подключаются к магистральным линиям через рубильники S1–S6 и защищаются посредством автоматических выключателей QF1–QF6.

Для питания погружных насосов применяются комплектные понижающие трансформаторные подстанции. В данном случае распределение электрической энергии между скважинными установками осуществляется на напряжении 0,4 кВ. Для получения такого напряжения используется комплектная понизительная трансформаторная подстанция напряжением 6(10)/0,4 кВ.

Работа погружных насосов осуществляется, как правило, при напряжениях более высоких по сравнению с напряжением 0,4 кВ. Для

получения напряжений, необходимых для работы погружных электрических двигателей, возле каждой скважины устанавливается повышающий трансформатор (рис. 76).

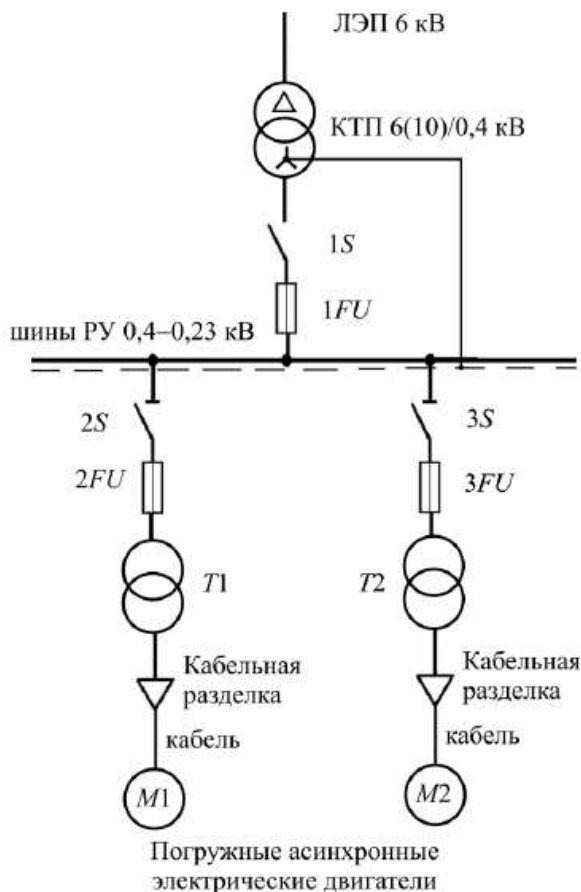


Рисунок 76 – Схема электроснабжения погружных насосов

Компрессоры, устанавливаемые на компрессорных станциях, приводятся в работу синхронными электрическими двигателями, номинальное напряжение статора которых составляет 6 или 10 кВ. Напряжение такой величины получают на понижающих подстанциях напряжением 35/6(10) или 110/6(10) кВ, которые сооружаются вблизи компрессорных станций. В тех случаях, когда к компрессорной станции могут быть подведены воздушные или кабельные линии напряжением 6, 10 кВ от главной понижающей подстанции нефтепромысла, сооружается только распределительный пункт напряжением 6 или 10 кВ.



Схема питания электрооборудования компрессорных станций по линиям, отходящим из РУ напряжением 6 кВ ГПП нефтепромысла, приведена на рис. 77.

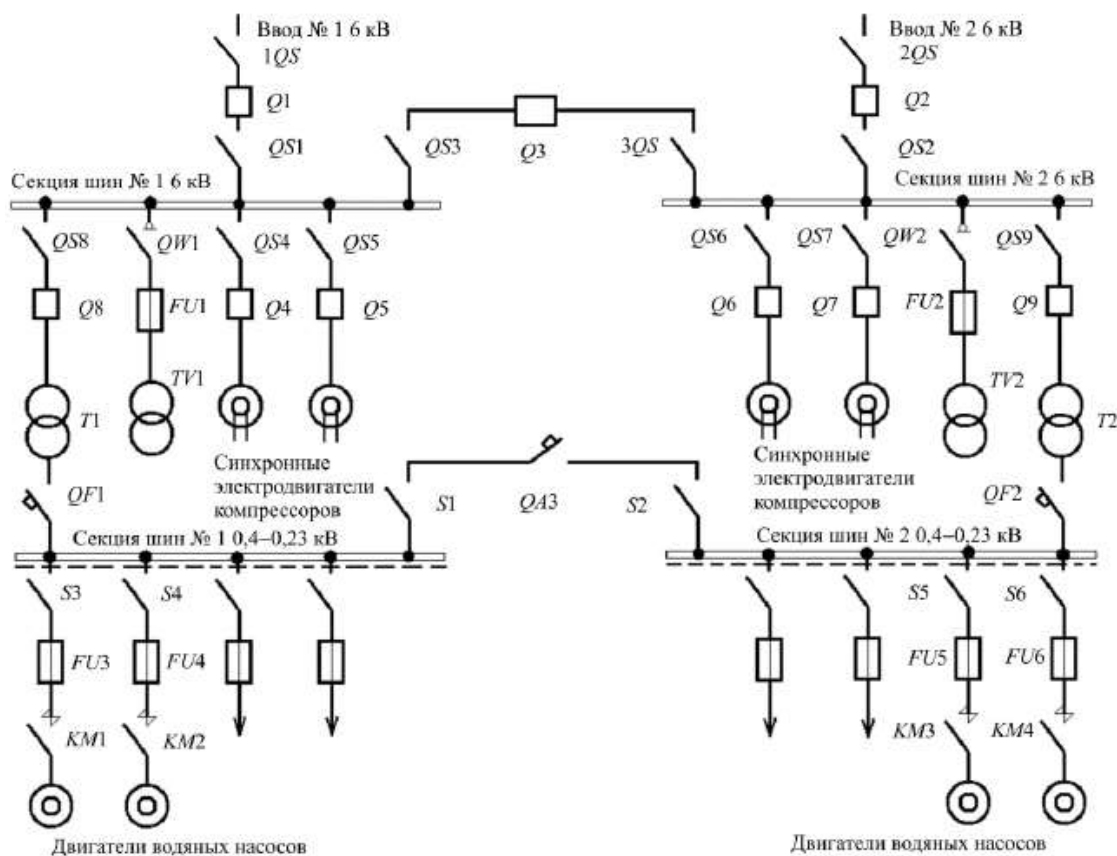


Рисунок 77 – Схема электроснабжения газоконпрессорных станций

Распределительный пункт 6 кВ компрессорной станции питается по двум вводам напряжением 6 кВ через ячейки ввода, в которых установлены линейные  $1QS$ ,  $2QS$  и шинные  $QS1$ ,  $QS2$  разъединители и выключатели мощности  $Q1$ ,  $Q2$ .

Шины распределительного пункта состоят из двух секций, соединенных перемычкой, в которой установлены шинные разъединители  $QS3$ ,  $3QS$  и секционный выключатель мощности  $Q3$ .

Синхронные электродвигатели, от которых осуществляется работа компрессоров, подключаются к секциям шин кабельными линиями через отведенную для каждого двигателя ячейку. Оснастка этих ячеек одинакова и включает шинный разъединитель, выключатель мощности и измерительные

трансформаторы тока. Шинные разъединители на схеме обозначены  $QS4$ – $QS7$ , а выключатели мощности –  $Q4$ – $Q7$ .

Кроме ячеек, через которые осуществляется управление работой синхронных электродвигателей компрессоров, в распределительном пункте предусмотрены две ячейки для подключения понижающих трансформаторов  $T1$ ,  $T2$  напряжением 6/0,4 кВ и две ячейки для размещения измерительных трансформаторов напряжения  $TV1$ ,  $TV2$ . Напряжение 0,4–0,23 кВ вторичных обмоток трансформаторов  $T1$ ,  $T2$  необходимо для работы вспомогательного электрооборудования компрессорных станций: двигателей насосов охлаждения синхронных электродвигателей, двигателей систем вентиляции, освещения, цепей сигнализации и управления.

Трансформаторы  $T1$ ,  $T2$  со стороны напряжения 6 кВ подключаются к шинам посредством шинных разъединителей  $QS8$ ,  $QS9$  и выключателей мощности  $Q8$ ,  $Q9$ . Вторичные обмотки трансформаторов  $T1$ ,  $T2$  подключаются к шинам напряжением 0,4–0,23 кВ автоматическими выключателями  $QF1$ ,  $QF2$ . Измерительные трансформаторы напряжения  $TV1$ ,  $TV2$  подключаются к секциям шин напряжением 6 кВ посредством выключателей нагрузки  $QW1$ ,  $QW2$  и плавких предохранителей  $FU1$ ,  $FU2$ .

Шины распределительного устройства напряжением 0,4–0,23 кВ выполняются в виде двух секций. Секции шин соединяются между собой перемычкой, в которую включены рубильники  $S1$ ,  $S2$  и секционный автоматический выключатель  $QF3$ . Электродвигатели, рассчитанные для работы от сети напряжением 0,4 кВ, подключаются к шинам через рубильники  $S3$  –  $S6$  предохранители  $FU3$  –  $FU6$  и контакторы  $KM1$  –  $KM4$ . Применение контакторов позволяет осуществлять дистанционное управление работой электродвигателей водяных насосов [42].

Электроустановки на объектах нефтегазового комплекса должны отвечать всем требованиям нормативных документов, регламентирующих пожарную безопасность. Пожарную безопасность электроустановок

предприятий нефтяной и газовой промышленности необходимо обеспечивать целым комплексом мер:

- правильно выбирать сечение жил питающих проводов и кабелей, причем, на объектах нефтегазового комплекса провода и кабели должны выбираться не только с учетом нормального, но и с учетом аварийных режимов работы;
- следить, чтобы кабели, прокладываемые через взрывоопасные зоны, должны обязательно иметь защитный покров;
- следить за температурой нагрева электроустановок. Допустимая температура нагрева проводов, кабелей, а также корпусов электроустановок не должна превышать температуру воспламенения паров нефти, нефтепродуктов и газовых смесей;
- исключать пересечение кабельных линий с нефте- и газопроводами (допустимое расстояние – 0,5 м);
- не допускать транзитную прокладку проводов и кабелей через производственные помещения и помещения складского характера;
- не допускать опасного сближения воздушной линии с промышленными факелами на расстояние менее 60 м;
- соединения, оконцевания и ответвления жил проводов и кабелей во избежание опасных в пожарном отношении переходных сопротивлений необходимо производить с помощью опрессовки, сварки, пайки или специальных зажимов;
- светильники и прожекторы должны применяться во взрывозащищенном исполнении;
- производить постоянный контроль сопротивления изоляции проводов и кабелей (не реже одного раза в год);
- производить постоянный контроль сопротивления петли фаза-ноль (не реже одного раза в пять лет);
- обеспечить постоянный контроль состояния аппаратов защиты

- обеспечить подключение всех электроустановок через аппараты защиты, причем защита от перегрузки должна быть обеспечена во всех случаях, независимо от мощности электроустановки.

Как видно из представленных типовых схем электроснабжения некоторых объектов нефтегазового комплекса, пожарная безопасность электроустановок данных объектов обеспечивается прежде всего применением аппаратов защиты – автоматических выключателей и плавких предохранителей. В обозримом будущем ожидается, что будут пересмотрены устаревшие проектные решения и в схемы электроснабжения будут активно внедрены такие устройства, как УЗО, УЗДП, УЗИП (на базе варисторов).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Проанализируйте схемы электроснабжения, приведенные в настоящей главе пособия, и выявите наиболее пожароопасные участки.
2. Дополните приведенные в данной главе схемы аппаратами защиты для повышения уровня пожарной безопасности электрооборудования.
3. Перечислите основные запреты, установленные для размещения электроустановок на объектах нефтегазового комплекса.
4. С какой целью в схемах электроснабжения объектов нефтегазового комплекса внедряются секционные переключатели? Важны ли они для обеспечения пожарной безопасности?
5. Какое электрооборудование с точки зрения пожарной безопасности следует применять на объектах нефтегазового комплекса?

## **8. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТОВ ВНОВЬ СТРОЯЩИХСЯ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

Электротехническая часть рабочего проекта включает в себя следующие основные документы:

- пояснительная записка;
- спецификации и сметы на силовое, осветительное электрооборудование, молниезащиту и защиту от статического электричества;
- структурные, функциональные и принципиальные электрические схемы силового и осветительного электрооборудования;
- электрические схемы подключения силового и осветительного электрооборудования;
- планы расположения и прокладки электрических сетей;
- кабельный журнал;
- схемы и чертежи молниезащиты и защитного заземления электроустановок;
- расчетные таблицы силовых и осветительных сетей, молниезащиты;
- общие данные по рабочим чертежам [43].

### **8.1. Методика чтения электротехнических схем и чертежей**

Прежде чем приступить к рассмотрению электротехнических схем и чертежей, следует познакомиться с содержанием пояснительной записки к электротехнической части проекта. В ней приведены сведения, характеризующие электроснабжение и электропотребление на объекте; характеристика силового и осветительного электрооборудования; характеристика защитного заземления электроустановок; характер и свойства сред производственных помещений и т.п. Согласно угловому штампу и

другим надписям на схемах и чертежах, затем подбирают поэтажные планы, разрезы расположения силового и осветительного электрооборудования, расчетные схемы электрических сетей и оборудования. Подбор чертежей может быть облегчен, так как обычно на одном из листов (чаще всего на плане первого этажа или нулевой отметке) делается экспликация и приводятся номера всех чертежей, входящих в состав данного проекта. Перечень чертежей электротехнической части проекта может быть указан и в таблице пояснительной записки к проекту.

Далее устанавливают места расположения (например, по плану первого или второго этажа) источников питания (подстанции, магистральной сети); вводов всех питающих кабельных и воздушных линий; выясняют, с какими распределительными щитами связана каждая линия. Выявив главные силовые шкафы (пункты), определяют вторичные распределительные (групповые) щитки или пункты. Затем приступают к рассмотрению электрических сетей отдельных распределительных щитов (пунктов) и присоединенных к ним электроприемников. Одновременно анализируют элементы защитного заземления электроустановок (заземлители, заземляющие проводники и т.п.), а также устройства защиты (автоматические выключатели, предохранители, устройства защитного отключения) питающих, распределительных и групповых сетей.

Если требуется более подробное ознакомление с аппаратами управления и защиты электродвигателей, обращаются к расчетно-монтажной таблице (схеме). Данные о проводах и кабелях в питающих и распределительных групповых сетях уточняются при помощи плана сети либо при помощи расчетно-монтажной схемы или по кабельному журналу [43].

## **8.2. Методика чтения схем и чертежей устройств молниезащиты и защиты от статического электричества**

Перед рассмотрением схем и чертежей устройств молниезащиты и защиты от статического электричества зданий и сооружений знакомятся с содержанием пояснительной записки к электротехнической части проекта, так как сведения по данным устройствам приведены, как правило, в этой части. В отдельных случаях может быть самостоятельная часть пояснительной записки только по молниезащите и защите от статического электричества. В пояснительной записке обычно приведены сведения характеризующие: категорию здания или сооружения по устройству молниезащиты; среднегодовую грозовую деятельность в часах; ожидаемое число поражений в год зданий и сооружений и тип зоны защиты; молниезащитные устройства от прямых ударов молнии (молниеотводы: молниеприемники, токоотводы и заземлители); молниезащитные устройства от вторичных воздействий молнии; молниезащитные устройства от заноса высокого потенциала.

Что касается защиты от статического электричества, то в пояснительной записке указывается информация о видах защиты (защитное заземление, экранирующие устройства, устройства защиты от импульсных перенапряжений и т.д.), применяемых на рассматриваемом объекте. Чаще всего технические особенности защиты от статического электричества отражены в чертежах и схемах молниезащиты и заземления объекта.

Далее по угловому штампу и другим надписям на схемах и чертежах подбирают планы и фасады с расположением молниеотводов и изображением их зоны защиты и ее разрезов. На отдельных видах обычно изображаются схемы подключения частей оборудования и технических установок к контуру заземления или схемы подключения специальных устройств для защиты от статического электричества. Подбор чертежей может быть облегчен, так как обычно в специальной таблице пояснительной

записки даны наименования чертежей, номера листов, страниц и чертежи альбома.

Далее устанавливают места расположения молниеотводов и их типы; места расположения заземлителей и заземлителей молниеотводов; их конструктивные особенности и основные параметры; типы и параметры токоотводов; выясняют, учитывались ли зоны взрывоопасности около устройств по выбросу горючих паров и газов (газоотводные и дыхательные трубы, дыхательные и предохранительные клапаны технологического оборудования); определяют характеристику кровли защищаемого здания; конструктивные особенности металлических наружных взрывоопасных установок (резервуары, газгольдеры, очистные сооружения) и т.д.

Одновременно анализируют отдельные узлы и элементы молниезащитных устройств, элементы зданий и сооружений, принятых в качестве молниезащитных устройств и устройств обеспечивающих нейтрализацию зарядов статического электричества (кровли, арматуры железобетонных частей зданий, ферм, колонн, фундаментов и т.п.) [43].

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какая документация подлежит пожарно-технической экспертизе?
2. Какие виды схем входят в электротехническую часть проекта?
3. Каков порядок чтения электротехнических схем и чертежей?
4. Откуда можно взять подробную информацию о проводах и кабелях, заложенных в проекте?
5. Где должен быть указан перечень чертежей электротехнической части проекта?



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АВДТ – автоматический выключатель дифференциального тока;
- АВР – автоматическое включение резерва;
- ВДП – выключатель дугового пробоя;
- ВРУ – вводное распределительное устройство;
- ГЗШ – главная заземляющая шина;
- ГПП – главная понижающая (понижительная) подстанция;
- ГРЩ – главный распределительный щит;
- ДНаТ – дуговая натриевая трубчатая лампа;
- ДРИ – дуговая ртутная металлогалогенная лампа;
- ДРИШ – металлогалогенная лампа короткодуговая, шаровая;
- ДРЛ – дуговая ртутная люминофорная лампа;
- ДТТ – дифференциальный трансформатор тока;
- КЗ – короткое замыкание;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- КТП – комплектная трансформаторная подстанция;
- ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость;
- ЛЭП – линия электропередач;
- ОПН – нелинейный ограничитель перенапряжений;
- ПВХ – поливинилхлорид (полихлорвинил);
- ПРА – пускорегулирующая аппаратура;
- ПУЭ – Правила устройства электроустановок;
- РУ – распределительное устройство;
- ТР – Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- УЗДП – устройство защиты при дуговом пробое;
- УЗИП – устройство защиты от импульсных перенапряжений;
- УЗО – устройство защитного отключения;
- ЭДС – электродвижущая сила.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 14255-69. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Оболочки. Степени защиты // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=OTN&n=24386&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=5328> (дата обращения: 10.01.2023).
3. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=6368> (дата обращения: 10.01.2023).
4. ГОСТ 17242-86. Предохранители плавкие силовые низковольтные. Общие технические условия // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=STR&n=10978&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).
5. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=4371> (дата обращения: 10.01.2023).
6. ГОСТ Р 50571.5.52-2011 / МЭК 60364-5-52:2009. Электроустановки низковольтные // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=16633> (дата обращения: 10.01.2023).

7. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=16850> (дата обращения: 10.01.2023).

8. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=18043> (дата обращения: 10.01.2023).

9. ГОСТ Р 51838-2012. Безопасность машин. Электрооборудование производственных машин. Методы испытаний // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_266942/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_266942/) (дата обращения: 10.01.2023).

10. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=17585> (дата обращения: 10.01.2023).

11. ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=20237> (дата обращения: 10.01.2023).

12. ГОСТ IEC 62606-2016. Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=25153> (дата обращения: 10.01.2023).

13. ГОСТ IEC/TR 60755-2017. Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования //

КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:  
<https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=24272>  
(дата обращения: 10.01.2023).

14. ГОСТ Р 58342-2019. Кабели силовые и контрольные для применения в электроустановках во взрывоопасных средах. Общие технические условия // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:  
<https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=STR&n=23831&dst=1000000001&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).

15. ГОСТ 31610.0-2019 (IEC 60079-0:2011). Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:  
<https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=STR&n=25023&dst=1000000001&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).

16. ГОСТ 31610.20-1-2020 (ISO/IEC 80079-20-1:2017). Взрывоопасные среды. Часть 20-1. Характеристики веществ для классификации газа и пара. Методы испытаний и данные // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:  
<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=27077> (дата обращения: 10.01.2023).

17. ГОСТ IEC 60898-1-2020. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:  
<https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=STR&n=26140&dst=1000000001&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).

18. ГОСТ IEC 61008-1-2020. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:

<https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=STR&n=26141&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).

19. ГОСТ ИЕС 61643-12-2022. Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения // РОССТАНДАРТ : [сайт]. – URL:

[https://www.gost.ru/portal/gost/home/standarts/cataloginter?portal:componentId=26cba537-adcd-44ed-9a44-72c63a7c7bc2&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXhJAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQADMTIwAAZkb2NfaWQAAAABAAU0MzMxOQАНХ19FT0ZfXw\\*\\*](https://www.gost.ru/portal/gost/home/standarts/cataloginter?portal:componentId=26cba537-adcd-44ed-9a44-72c63a7c7bc2&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXhJAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQADMTIwAAZkb2NfaWQAAAABAAU0MzMxOQАНХ19FT0ZfXw**) (дата обращения: 10.01.2023).

20. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=5876> (дата обращения: 10.01.2023).

21. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_80937/c40f1327a2652bbc15aa2bc1f27ef1a43f8f0844/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_80937/c40f1327a2652bbc15aa2bc1f27ef1a43f8f0844/) (дата обращения: 10.01.2023).

22. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_89061/c2e0537c74e6a91a3f0895023b8defd3f19c3080/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89061/c2e0537c74e6a91a3f0895023b8defd3f19c3080/) (дата обращения: 10.01.2023).

23. СП 76.13330.2016. Электротехнические устройства // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL:

<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=21081> (дата обращения: 10.01.2023).

24. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=21874> (дата обращения: 10.01.2023).

25. СП 423.1325800.2018. Электроустановки низковольтные зданий и сооружений. Правила проектирования во взрывоопасных зонах // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=STR&n=28544&dst=1000000001&demo=1> (дата обращения: 10.01.2023).

26. СП 6.13130.2021. Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_384323/c2201e7e278fab9a3e6f97b5d829b79bbceb91aa/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384323/c2201e7e278fab9a3e6f97b5d829b79bbceb91aa/) (дата обращения: 10.01.2023).

27. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : Постановление Правительства Российской Федерации от 16.09.2020 № 1479 // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363263/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/) (дата обращения: 10.01.2023).

28. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии : Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 12.08.2022 № 811 // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_428583/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_428583/) (дата обращения: 10.01.2023).

29. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98464/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/) (дата обращения: 10.01.2023).

30. Приказ МЧС России от 09.02.2022 № 78 «Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении контролируемым лицом обязательных требований), применяемых должностными лицами органов государственного пожарного надзора МЧС России при осуществлении федерального государственного пожарного надзора» // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_410422/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_410422/) (дата обращения: 10.01.2023).

31. Приказ Ростехнадзора от 25.02.2022 № 61 «Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении контролируемым лицом обязательных требований), применяемых Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и ее территориальными органами при проведении плановых выездных проверок при осуществлении федерального государственного энергетического надзора в сфере электроэнергетики и федерального государственного энергетического надзора в сфере теплоснабжения» // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_427689/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_427689/) (дата обращения: 10.01.2023).

32. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 10.01.2023).

33. Fireman.club : [сайт]. – URL: <https://fireman.club/> (дата обращения: 10.01.2023).

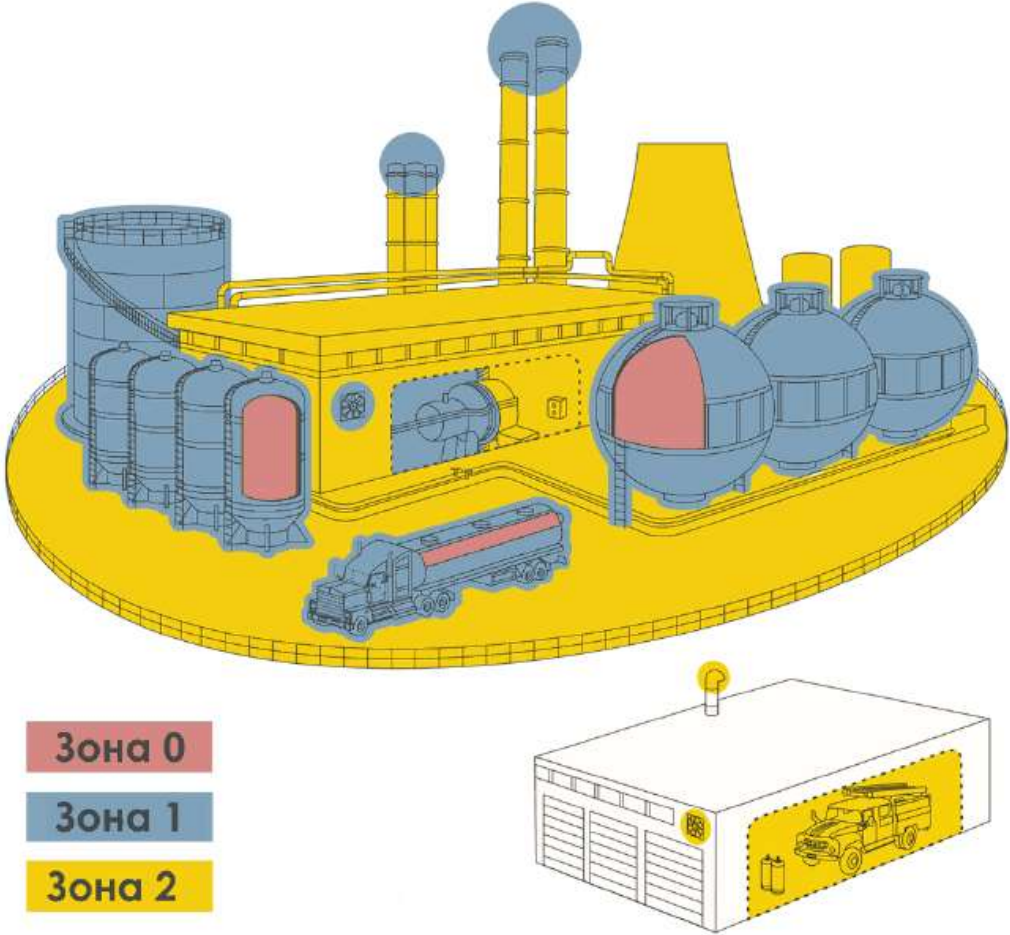
34. Автоматические выключатели // Заметки электрика : [сайт]. – URL: <http://zametkielectrika.ru/> (дата обращения: 10.01.2023).

35. ГОРЭЛТЕХ завод взрывозащищенного оборудования : [сайт]. – URL: <https://exd.ru/> (дата обращения: 10.01.2023).

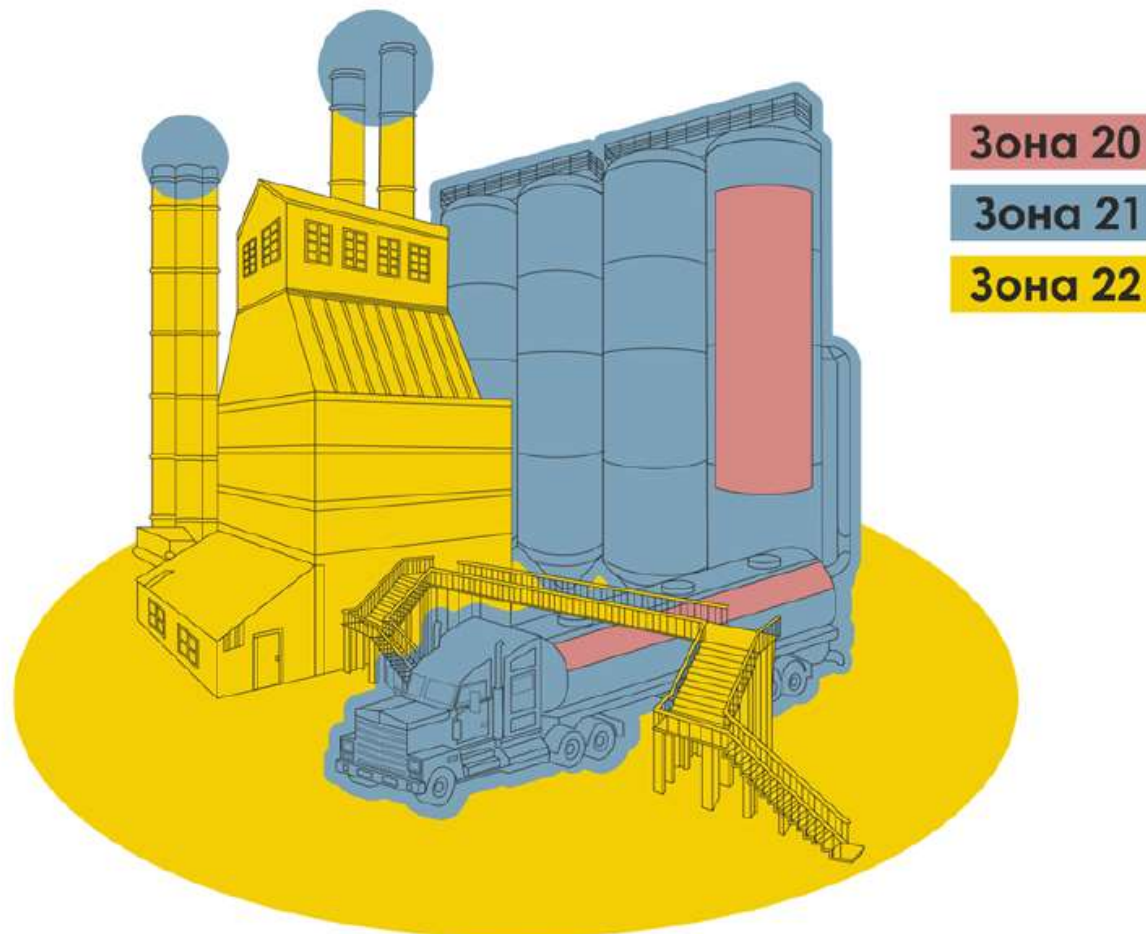
36. Грунин, П. В. Пожарная безопасность электроустановок : учеб. пособие / В. К. Грунин, П. В. Рысев, В. К. Федоров. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 139 с.
37. Гурин, В. В. Автоматическая защита электрооборудования: учебно-методическое пособие / В. В. Гурин. – Минск : БГАТУ, 2010. – 360 с.
38. Пожарная безопасность электроустановок : учебник / М. В. Агунов, М. Д. Маслаков, М. Т. Пелех, О. А. Хорошилов ; под общей редакцией В. С. Артамонова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2012. – 234 с.
39. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году : Статистический сборник / Под общей редакцией Д. М. Гордиенко. – М. : ВНИИПО, 2020. – 80 с.
40. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году : Статистический сборник. – Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.
41. Сафронова, И. Г. Пожарная безопасность электроустановок : лабораторный практикум / И. Г. Сафронова, Б. П. Смирнов, С. В. Субачев. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2018. – 65 с.
42. Цылёв, П. Н. Электропривод и электрооборудование технологических объектов нефтегазовой отрасли : учеб. пособие / П. Н. Цылёв. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 192 с.
43. Черкасов, В. Н. Пожарно-техническая экспертиза электротехнической части проекта: учеб. пособие / В. Н. Черкасов, А. С. Харламенков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – 165 с.
44. Черкасов, В. Н. Пожарная безопасность электроустановок : учебник / В. Н. Черкасов, В. И. Зыков. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. – 391 с.



Расположение взрывоопасных зон по классификации ТР [32, 35]

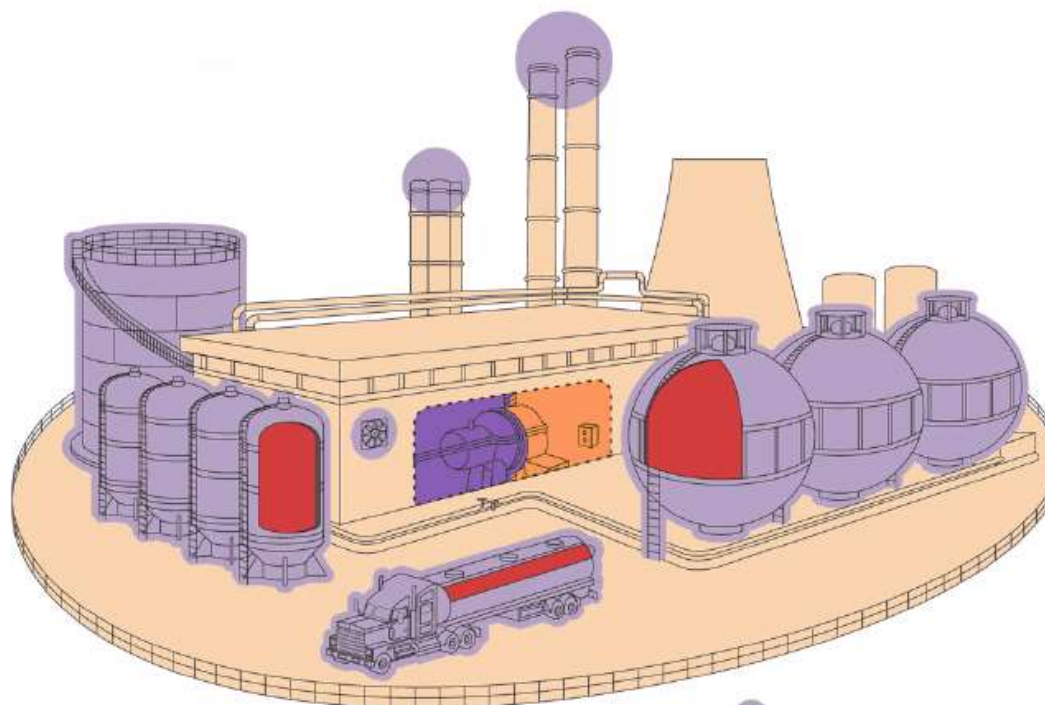


Расположение взрывоопасных зон по классификации ТР [32, 35]

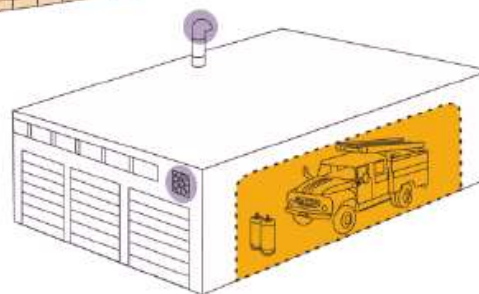


## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расположение взрывоопасных зон по классификации СП 423.1325800.2018 [25, 35]

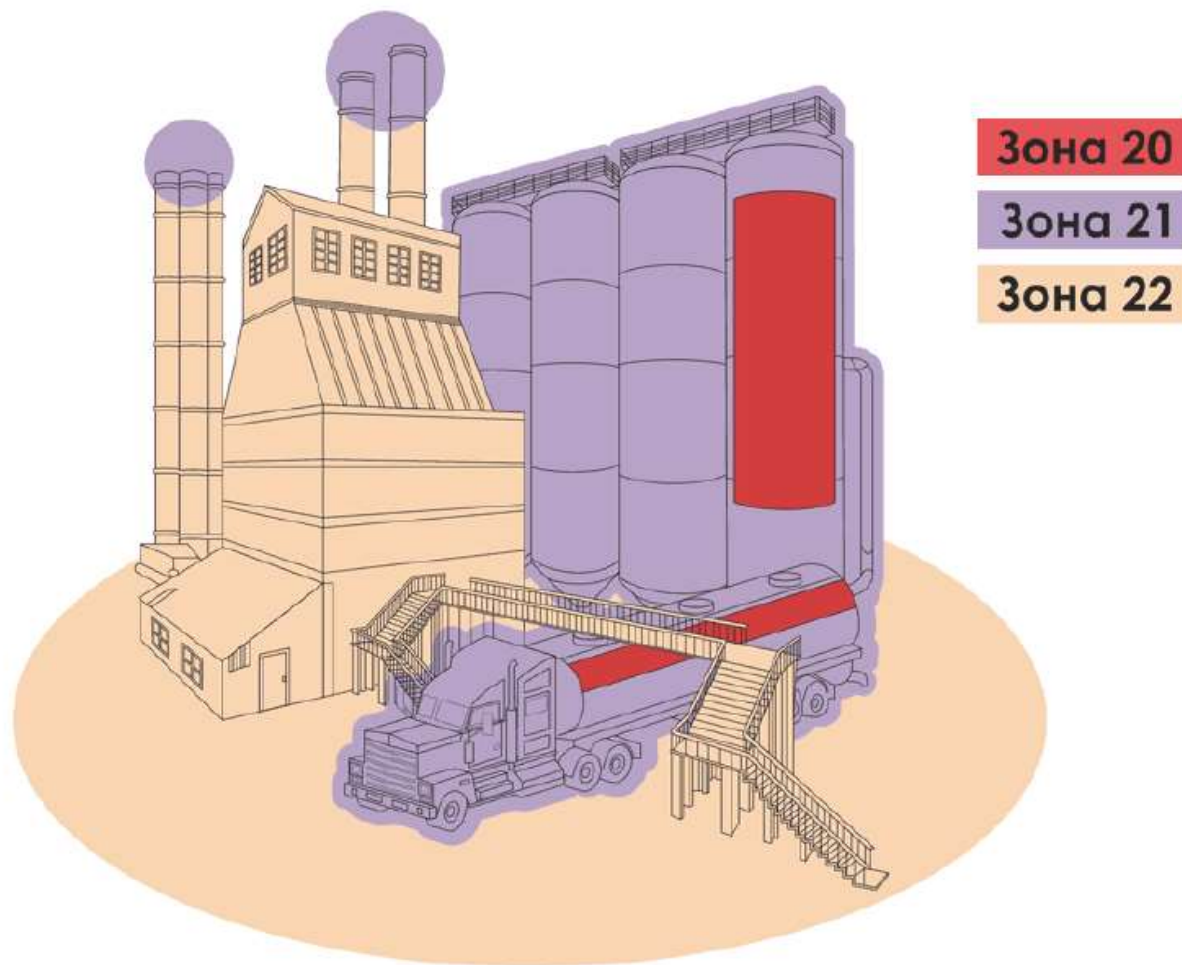


<b>Зона 0</b>	<b>Зона 2а</b>
<b>Зона 1а</b>	<b>Зона 2г</b>
<b>Зона 1г</b>	<b>Зона 2б</b>



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Расположение взрывоопасных зон по классификации СП 423.1325800.2018 [25, 35]



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Соответствие обозначения взрывоопасных зон по классификации российских и международных стандартов [35]



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Определение требуемого сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву (токовым перегрузкам)

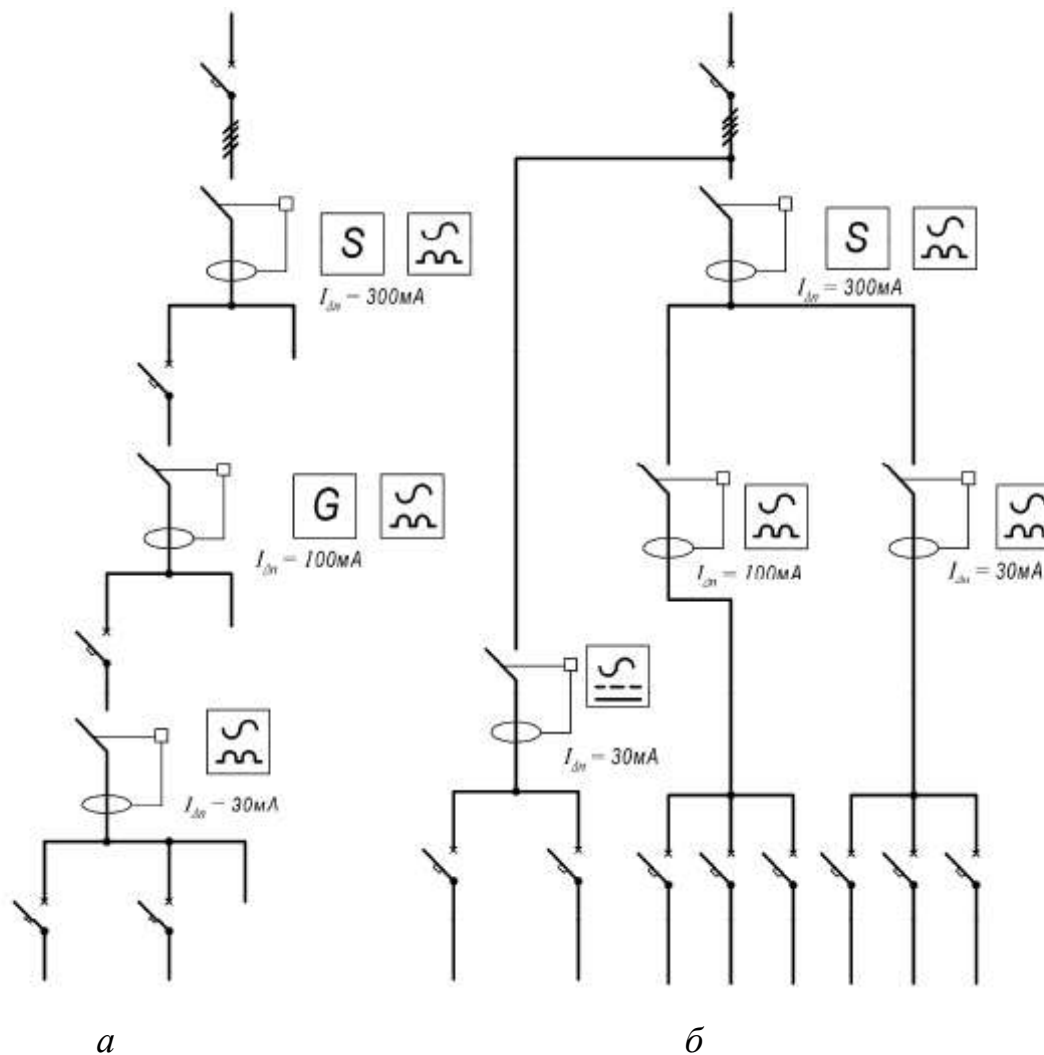
Способ прокладки провода или кабеля	Число нагруженных проводников и тип изоляции											
		3 PVC	2 PVC		3 XLP E	2 XLP E						
A1		3 PVC	2 PVC		3 XLP E	2 XLP E						
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLP E	2 XLP E							
B1				3 PVC	2 PVC		3 XLP E		2 XLP E			
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLP E	2 XLP E					
C					3 PVC		2 PVC	3 XLP E		2 XLP E		
E						3 PVC		2 PVC	3 XLP E		2 XLP E	
F							3 PVC		2 PVC	3 XLP E		2 XLP E

Площадь поперечно сечения проводка (в зависимости от материала) в мм <sup>2</sup>	Допустимые токовые нагрузки, А												
<b>Медь</b>													
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	19,5	22	23	24	26	-	
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	-	
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-	
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-	
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	66	-	
16	52	56	61	68	73	60	85	94	100	107	115	-	
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161	
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200	
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242	
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310	
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377	
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437	
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504	
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575	
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679	
<b>Алюминий</b>													
2,5	13,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	-	
4	17,5	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-	
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-	
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-	
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-	
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121	
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150	
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184	
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	196	211	237	
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289	
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	260	300	337	
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389	
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447	
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Схема подключения УЗО совместно с автоматическими выключателями с учетом требований селективности:

*а* – три уровня селективности; *б* – два уровня селективности





## ПРИЛОЖЕНИЕ И

Схема подключения УЗДП для жилого дома (пример)

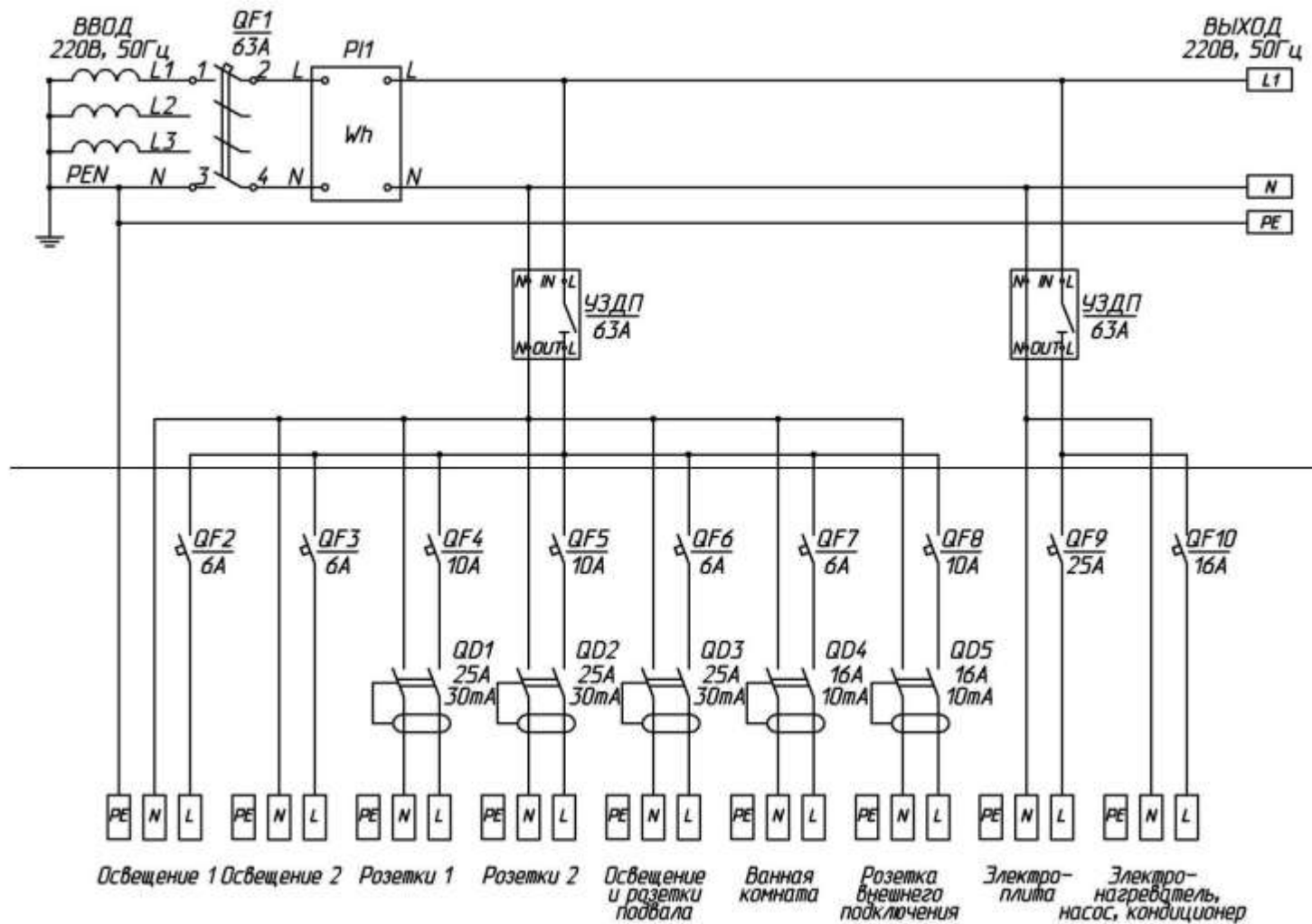
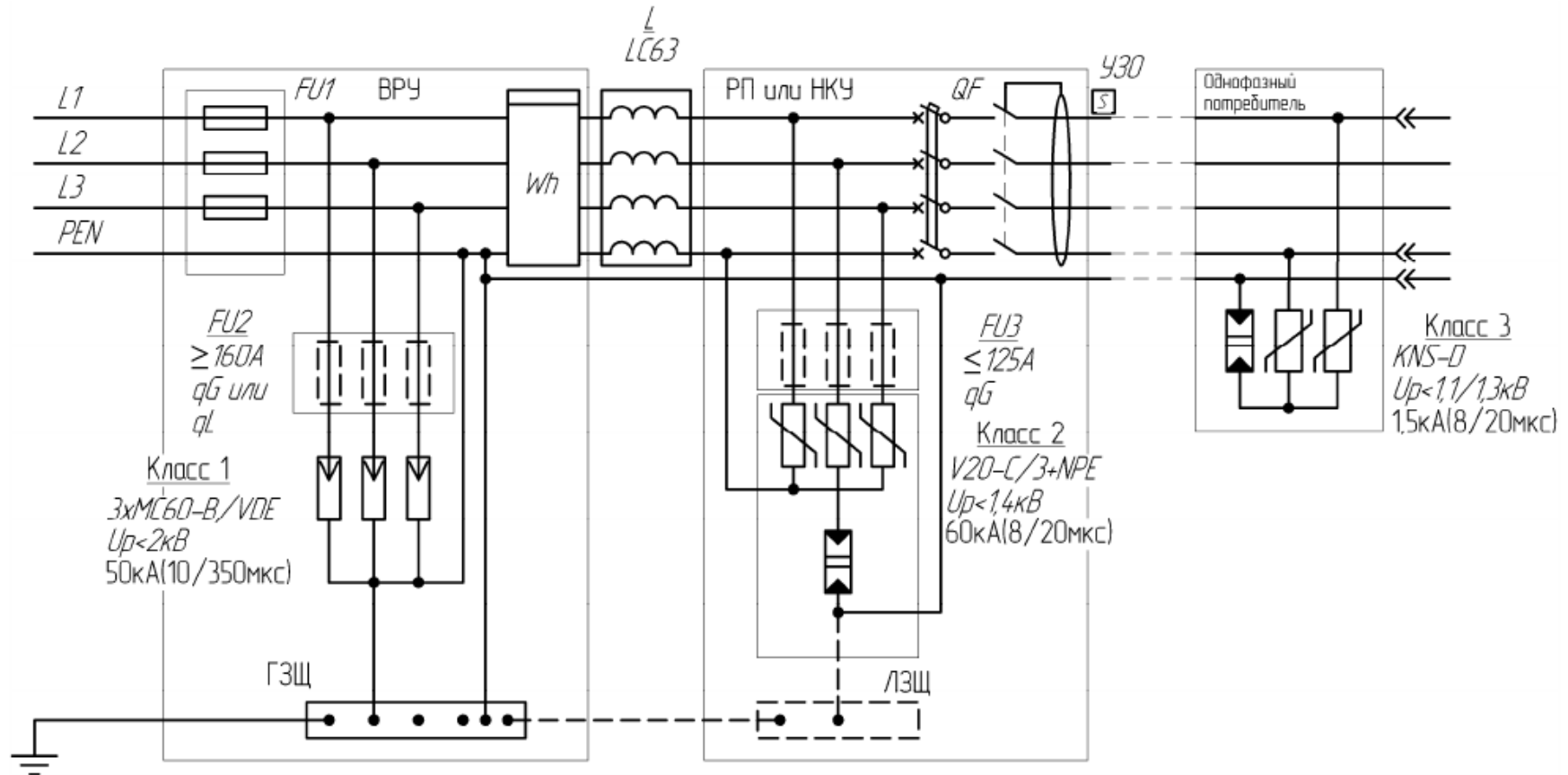


Схема подключения УЗИП (пример)



# **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Учебное пособие

2-е издание, исправленное и дополненное

## **Авторы:**

Минкин Андрей Николаевич, канд. техн. наук, доцент

Едимичев Дмитрий Александрович, канд. техн. наук

Пожаркова Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент

Трояк Евгений Юрьевич, канд. пед. наук

Осавелюк Петр Алексеевич, канд. техн. наук