

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта  
Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»

**Составитель Туманова Н.И.**

**Безопасность электроустановок**

Курс лекций

по дисциплине «Безопасность электроустановок» для студентов ВлГУ,

обучающихся по направлению **20.03.01 Техносферная безопасность**

Владимир – 2016г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

<b>Тема 1. Общие вопросы электробезопасности .....</b>	<b>3</b>
Лекция 1. Введение. Нормативно-правовая база электробезопасности. Законы Российской Федерации, подзаконные акты. Межотраслевые правила и нормы, государственные стандарты. Государственный надзор за проведением мероприятий, обеспечивающих безопасность обслуживания электрических установок, Росэнергонадзор. Контроль за состоянием электробезопасности на объектах экономики Действие электрического тока на организм человека: Местные электрические травмы. Электрические удары. (Статистика электротравматизма)...	3
<b>Тема 2. Анализ опасности электрических сетей.....</b>	<b>11</b>
Лекция 2. Анализ электрических сетей по условиям безопасности Режимы работы сети и электроустановки. Опасность замыкания токоведущих частей электроустановок на землю .....	11
Лекция 3. Электрические и магнитные поля промышленных и бытовых электроприборов.....	25
Лекция 4.. Электростатическая искробезопасность и защита от статического электричества .....	32
<b>Тема 3. Защитные меры от поражения электрическим током .....</b>	<b>39</b>
Лекция 5. Основные промышленные способы защиты человека от поражения электрическим током .....	39.
Лекция 6. Специальные меры. Защитное заземление. Защитное зануление. Защитное отключение. Сигнализация и блокировки .....	39
Лекция 7. Защитные средства в электроустановках. Аппараты защиты в электроустановках .....	39
<b>Тема4. Техника безопасности (ТБ) при эксплуатации электроустановок.</b>	<b>67</b>
Лекция 8. Производство работ в электроустановках. Условия безопасной эксплуатации электроустановок .....	67
<b>Тема5. Пожарная безопасность электроустаново.....</b>	<b>78</b>
Лекция 9. Электроустановки во взрывоопасных зонах. Электрооборудование в пожароопасных зонах .....	78
Список литературы.....	122

## **Тема 1. Общие вопросы электробезопасности (ЭлБ).**

**Лекция 1.** Введение. Нормативно-правовая база электробезопасности. Законы Российской Федерации, подзаконные акты. Межотраслевые правила и нормы, государственные стандарты. Государственный надзор за проведением мероприятий, обеспечивающих безопасность обслуживания электрических установок, Росэнергонадзор. Контроль за состоянием электробезопасности на объектах экономики Действие электрического тока на организм человека: Местные электрические травмы. Электрические удары. Статистика электротравматизма.

**Электробезопасность** – это система организационно-технических мероприятий, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного влияния электрического тока, электрической дуги, электростатического поля и статического электричества.

**Электроустановка** – совокупность машин, аппаратов, линий электропередач и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, передачи, трансформации, распределения электрической энергии, преобразование ее в другой вид энергии.

**Действующая электроустановка** – установка, которая находится под напряжением, или на которую в любой момент может быть подано напряжение с помощью коммутационного оборудования.

### **Действие электрического тока на организм человека**

Электрический ток, проходя через живой организм оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Термическое действие проявляется в ожогах, нагреве и повреждении кровеносных сосудов, перегреве сердца, мозга и других органов, что вызывает в них функциональные расстройства.

Электролитическое действие проявляется в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом.

Биологическое действие выражается, главным образом, в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, свойственных нормально действующему организму и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями.

Например, взаимодействуя с биотоками организма, внешний ток может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и вызывать произвольные сокращения мышц.

Основных видов поражения три:

- электрические травмы;
- электрические удары;

- электрический шок.

**Электрическая травма** представляет собой местное поражение тканей и органов электрическим током: ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, поражение глаз действием на них электрической дуги.

**Электрический ожог** – это повреждения поверхности тела или внутренних органов под действием электрической дуги или больших токов, проходящих через тело человека.

Ожоги бывают двух видов: токовый (или контактный) и дуговой.

Токовый ожог обусловлен прохождением тока непосредственно через тело человека в результате прикосновений к токоведущей части. Токовый ожог – следствие преобразования электрической энергии в тепловую; как правило, это ожог кожи, так как кожа человека обладает во много раз большим электрическим сопротивлением, чем другие ткани тела.

Токовые ожоги возникают при работе на электроустановках относительно небольшого напряжения (не выше 1-2 кВ) и является в большинстве случаев ожогами I или II степени; впрочем, иногда возникают и тяжелые ожоги.

При напряжениях более высоких между токоведущей частью и телом человека или между токоведущими частями образуется электрическая дуга, которая и вызывает возникновение ожога другого вида – дугового.

Дуговой ожог обусловлен действием на тело электрической дуги, обладающей высокой температурой (свыше 3500 С) и большой энергией. Такой ожог возникает обычно при электроустановках высокого напряжения и носит тяжелый характер – III или IV степени.

Различают **четыре степени ожогов**: I степень характеризуется покраснением кожи, II степень – образованием пузырей, III степень – обугливанием кожи, IV степень – обугливанием подкожной клетчатки, мышц, сосудов, нервов, костей.

Состояние пострадавшего зависит не столько от степени ожога, сколько от площади поверхности тела, пораженной ожогом.

**Электрический знак** – это четкое очерченное пятно ( $d=1-5$  мм) серого или бледно-желтого цвета, появляющееся на поверхности кожи человека, подвергнувшейся действию тока; пораженный участок кожи затвердевает подобно мозоли. В большинстве случаев электрические знаки безболезненны, с течением времени верхний слой кожи сходит, и пораженное место приобретает первоначальный цвет, эластичность и чувствительность.

**Электрометаллизацией** называется проникновение в кожу частиц металла вследствие его разбрызгивания и испарения под действием тока – например, при горении электрической дуги. Поврежденный участок кожи становится жестким и шероховатым, цвет его определяется цветом соединений металла, проникшего в кожу.

Электрометаллизация может произойти при коротких замыканиях, отключениях разъединителей и рубильников под нагрузкой.

С течением времени больная кожа сходит, пораженный участок приобретает нормальный вид, исчезают болезненные ощущения.

**Электроофтальмия** – это воспаление наружных оболочек глаз, возникающее под воздействием мощного потока ультрафиолетовых лучей. Такое облучение возможно при образовании электрической дуги (короткое замыкание), которая интенсивно излучает не только видимый свет, но и ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

Электроофтальмия обнаруживается спустя 2-6 ч после ультрафиолетового облучения. При этом наблюдаются покраснение и воспаление слизистых оболочек век, слезотечение, гнойные выделения из глаз, спазмы век и частичное ослепление. Пострадавший испытывает сильную головную боль и резкую боль в глазах, усиливающуюся на свету, у него возникает так называемая светобоязнь.

В тяжелых случаях воспаляется роговая оболочка глаза и нарушается ее прозрачность, расширяются сосуды роговой и слизистой оболочек, суживается зрачок. Болезнь продолжается обычно несколько дней.

Предупреждение электроофтальмии при обслуживании электроустановок обеспечивается применением защитных очков с обычными стеклами, которые плохо пропускают ультрафиолетовые лучи и защищают глаза от брызг расплавленного металла.

Механические повреждения возникают вследствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей.

**Электрический удар** – это возбуждение живых тканей организма проходящим через них электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. Степень отрицательного воздействия этих явлений на организм может быть различна. Электрический удар может привести к нарушению и даже полному прекращению деятельности жизненно важных органов – легких и сердца, а значит, и к гибели организма. Внешних местных повреждений, т.е. электрических травм, человек при этом может и не иметь.

В зависимости от исхода поражения электрические удары могут быть условно разделены на четыре степени, из которых каждая характеризуется определенными проявлениями:

I – судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимися дыханием и работой сердца;

III – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV – клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

**Клиническая смерть** – это переходный период от жизни к смерти, наступающий в момент прекращения деятельности сердца и легких. У человека, находящегося в состоянии клинической смерти, отсутствуют все признаки жизни: он не дышит, сердце его не работает, болевые раздражения не вызывают никаких реакций, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет.

Длительность клинической смерти определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток коры головного мозга. В большинстве случаев она составляет 4-5 мин, а при гибели здорового человека от случайной причины, в частности от электрического тока – 7-8 мин.

Причинами смерти от электрического тока могут быть прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок.

Работа сердца может прекратиться в результате или прямого воздействия тока на мышцу сердца, или рефлекторного действия, когда сердце не лежит на пути тока. В обоих случаях может произойти остановка сердца или наступить его **фибрилляция**, т.е. беспорядочное сокращение и расслабление мышечных волокон сердца.

Фибрилляция обычно продолжается очень недолго и сменяется полной остановкой сердца. Если сразу же не оказана первая помощь, то наступает клиническая смерть.

Прекращение дыхания вызывается непосредственным, а иногда рефлекторным действием тока на мышцы грудной клетки, участвующие в процессе дыхания.

Уже при токе, равном 20-25 мА (50 Гц), человек начинает испытывать затруднение дыхания, которое усиливается с ростом тока. При действии такого тока в течение нескольких минут наступает удушье.

**Электрический шок** – своеобразная реакция нервной системы организма в ответ на сильное раздражение электрическим током: расстройство кровообращения, дыхания, повышение кровяного давления. Шок имеет две фазы: I – фаза возбуждения, II – фаза торможения и истощения нервной системы.

Во второй фазе учащается пульс, ослабевает дыхание, возникает угнетенное состояние и полная безучастность к окружающему при сохранившемся сознании. Шоковое состояние может длиться от нескольких десятков минут до суток после чего организм гибнет.

## Факторы, влияющие на исход поражения

На поражение человека электрическим током влияют: величина тока, проходящего через его тело, род тока, частота, путь тока, длительность его воздействия, окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие токопроводящей пыли), сопротивление тела человека.

При поражении электрическим током основными факторами являются путь прохождения тока через тело человека и время его действия. В связи с этим по характеру действия токи оцениваются так, как приведено в табл. 1.

Чем меньше продолжительность действия тока на организм человека, тем меньше опасность.

Ток 100мА и более (при 50 Гц), проходя через тело человека по пути рука-рука или рука-ноги, раздражающе действует на мышцу сердца, расположенную глубоко в груди. Это весьма опасно для жизни человека, поскольку спустя 1-2с с момента замыкания цепи этого тока через человека может наступить фибрилляция сердца. При этом прекращается кровообращение, и, следовательно, в организме возникает недостаток кислорода, что, в свою очередь, быстро приводит к прекращению дыхания, т.е. приводит к смерти.

Токи, которые вызывают фибрилляцию сердца, называются фибрилляционными, а наименьший из них – пороговым фибрилляционным током.

Таблица 1. Влияние величины тока на исход поражения.

Величина тока, мА	Характер воздействия тока	
	Переменный 50÷ 60 Гц	Постоянный
До 0,5	Не ощущается.	Не ощущается.
0,6 – 1,5	Ощущается. Пощипывание, покалывание, легкое дрожание пальцев рук.	Не ощущается.
2 – 3	Сильное дрожание пальцев рук.	Не ощущается.
5 – 10	Судороги в руках.	Зуд, ощущение нагрева.
12 – 15	Руки трудно оторвать от электродов. Сильные боли в пальцах и кистях рук. Состояние терпимо 5 – 10 с.	Усиление нагрева.
20 – 25	Руки парализуются немедленно, оторвать их от электродов невозможно. Очень сильные боли, затрудняется дыхание. Состояние терпимо не более 5 с.	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук.
50 – 80	Паралич дыхания, начало трепетания желудочков сердца (фибрилляция).	Сильное ощущение нагрева. Сокращение мышц рук. Судороги, затруднение дыхания.

90 – 100	Паралич дыхания. При длительности 3 с и более паралич сердца.	Паралич дыхания.
3000 и >	Паралич дыхания и сердца при воздействии тока более 0,1 с. разрушение тканей тела тепловым действием тока.	Паралич дыхания, сердца.

При невысоких напряжениях (до 100 В) постоянный ток примерно в 3-4 раза менее опасен, чем переменный частотой 50 Гц; при напряжениях 400-500 В опасность их сравнивается, а при более высоких напряжениях постоянный ток даже опаснее переменного.

Наиболее опасен ток промышленной частоты (20-100 Гц). Снижение опасности действия тока на живой организм заметно сказывается при частоте 1000 Гц и выше. Токи высокой частоты, начиная от сотен килогерц, вызывают только ожоги, не поражая внутренних органов. Это объясняется тем, что такие токи не способны вызывать возбуждение нервных и мышечных тканей.

Важное значение для исхода поражения имеет путь электрического тока через тело человека. Установлено, что ткани разных частей человеческого тела имеют различные удельные сопротивления. При прохождении тока через тело человека наибольшая часть тока проходит по пути наименьшего сопротивления, главным образом, вдоль кровеносных и лимфатических сосудов. Различают 15 путей тока в теле человека. Наиболее часты такие:

- рука-рука
- правая рука-ноги
- левая рука-ноги
- нога-нога
- голова-ноги
- голова-руки.

Наиболее опасным является путь тока вдоль тела, например, от руки к ноге или через сердце, голову, спинной мозг человека. Однако известны смертельные поражения, когда ток проходит по пути нога – нога или рука – рука.

Вопреки установившемуся мнению наибольшая величина тока через сердце оказывается не по пути левая рука – ноги, а по пути правая рука – ноги. Это объясняется тем, что большая часть тока входит в сердце по продольной его оси, лежащей по пути правая рука – ноги.

Одним из факторов, влияющих на исход поражения, является сопротивление тела человека.

Электрическое сопротивление тела человека – это сопротивление току, проходящему по участку тела между двумя электродами, приложенными к поверхности тела человека. Оно состоит из двух тонких наружных слоёв кожи, касающихся электродов, и внутреннего

сопротивления рук и корпуса  $r_{вр}$  и  $r_{вк}$  (рис 2а) Электрическая схема тела человека показана на рис 2б.

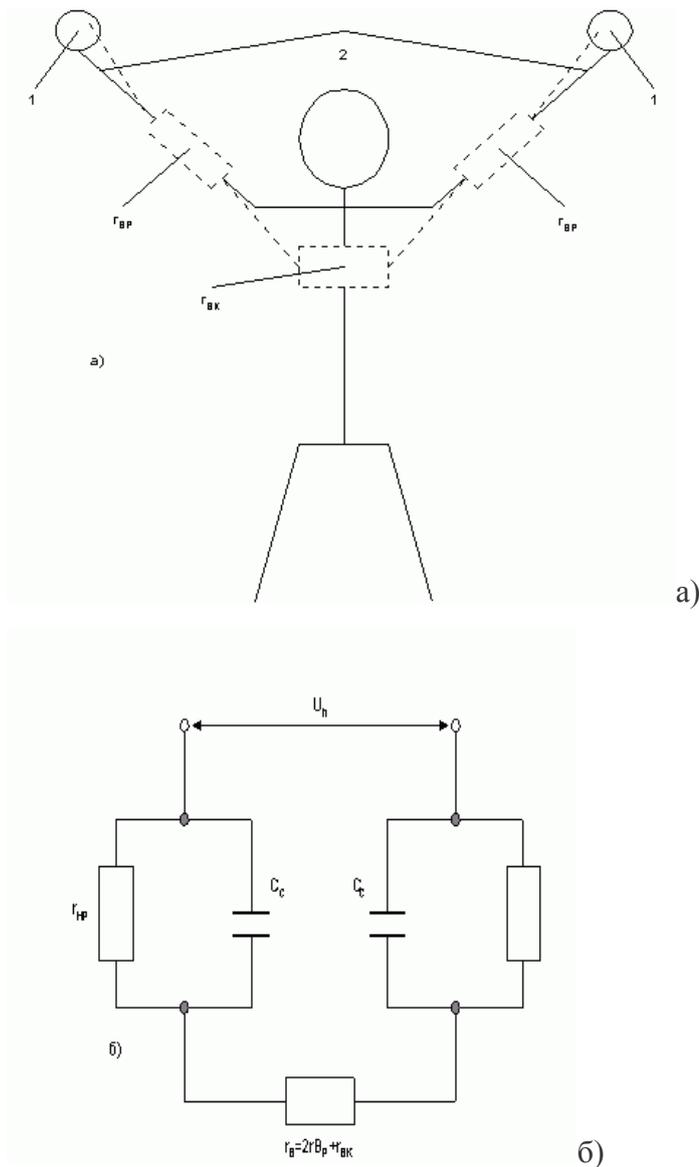


Рис. 2 Электрические сопротивления тела человека:

а) реальные сопротивления элементов тела человека: 1 – электроды, 2 – наружное сопротивление рук (верхних слоев кожи),  $r_{вп}$  – внутреннее сопротивление рук,  $r_{вк}$  – внутреннее сопротивление корпуса.

б) электрическая схема тела человека:  $r_{вп}$  – наружное сопротивление рук,  $C_с$  – емкостное сопротивление рук,  $r_в$  – внутреннее сопротивление, состоящее из внутреннего сопротивления рук и корпуса,  $U_h$  – напряжение, приложенное к телу человека.

Кожа состоит из двух основных слоёв: наружного – эпидермиса и внутреннего – дермы.

Эпидермис, в свою очередь, также имеет несколько слоёв. Верхний, самый толстый слой называется роговым (омертвевшие ороговевшие клетки), а слой, находящийся под ним, – ростковым (живые клетки). В сухом незагрязненном состоянии роговой слой можно

рассматривать как диэлектрик, его удельное сопротивление в 1000 раз превышает сопротивление других слоёв кожи и внутренних тканей организма.

Электрическое сопротивление дермы незначительно, оно во много раз меньше сопротивления рогового слоя.

Наружное сопротивление тела человека состоит из сопротивлений двух наружных слоев кожи, прилегающих к электродам (рис 3.1). Иначе говоря, наружное сопротивление состоит из активного сопротивления  $r_{нр}$  и емкостного сопротивления  $C_p$  (2б).

В месте контакта электрода с телом человека (рис 2а) образуется своего рода конденсатор, одной обкладкой которого служит электрод, другой – внутренние токопроводящие ткани, а диэлектриком – наружный слой кожи.

Внутреннее сопротивление тела человека - сопротивление внутренних слоев кожи и внутренних тканей тела – считается активным, оно зависит от длины и поперечного сечения участка тела и не зависит от частоты тока.

Полное сопротивление состоит из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи  $r_{нр}$  и так называемого внутреннего сопротивления тела  $r_b$  (см. рис 2б), которое включает в себя внутреннее сопротивление руки  $r_{вр}$ , внутреннее сопротивление корпуса  $r_{вк}$  и емкостное сопротивление руки  $C_p$ .

Величина сопротивления  $r_{нр}$  человека зависит от состояния рогового слоя кожи, наличия на ее поверхности влаги и загрязнения, а также от места приложения электродов, частоты тока и длительности протекания тока.

Повреждения рогового слоя (порезы, царапины, ссадины и другие микротравмы), а также увлажнение, потовыделение и загрязнение кожи снижают сопротивление тела человека, что увеличивает опасность его поражения электрическим током.

Загрязнение кожи различными веществами, в особенности хорошо проводящими электрический ток (металлическая или угольная пыль, окалина и т.п.), снижает ее сопротивление.

Разные участки тела имеют различную толщину рогового слоя кожи и неравномерное распределение потовых желез, поэтому обладают неодинаковым сопротивлением.

С увеличением силы тока и времени его прохождения сопротивление тела падает, так как при этом усиливается местный нагрев кожи, а это приводит к расширению сосудов и, следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и к увеличению потовыделения.

С ростом напряжения сопротивления кожи уменьшается в десятки раз, а следовательно, уменьшается и сопротивление тела в целом; оно приближается к сопротивлению внутренних тканей тела, т.е. к своему наименьшему значению (300 –500 Ом).

Это можно объяснить электрическим пробоем слоя кожи, который происходит при напряжении 50 – 200 В.

Сопротивление разных участков тела человека не одинаково. Объясняется это различной толщиной рогового слоя кожи, неравномерным распределением потовых желез на поверхности тела и неодинаковой степенью наполнения сосудов кожи кровью. Поэтому величина сопротивления тела зависит от места приложения электродов.

Сопротивление тела человека ( $R_{ч}$ ) в практических расчетах принимается равным 1000 Ом. В реальных условиях сопротивление тела человека – величина не постоянная и зависит от ряда факторов.

При величине приложенного напряжения 36 В сопротивление  $R_{ч}$  принимается равным 6 кОм.

## **Тема 2 Анализ опасности электрической сети**

### **Лекция 2 Растекание тока при замыкании на землю**

Замыканием на землю называется случайное электрическое соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными частями, не изолированными от земли, или непосредственно с землей.

Замыкание может вызвать: повреждение изоляции; возникновение контакта между токоведущими частями электрооборудования и заземленным проводом; падение на землю оборванного провода, находящегося под напряжением.

Формы и размеры заземлителя (проводника, осуществляющего контакт с грунтом) различны, а электрические свойства грунта обычно неоднородны. Поэтому в общем виде распределение потенциалов в электрическом поле заземлителя определяется сложной зависимостью. Для упрощения положим, что заземлитель имеет форму полусферы и находится в однородном и изотропном грунте. Если на достаточно большом расстоянии от рассматриваемого заземлителя нет других электродов, то линии тока направлены по радиусам от его центра и перпендикулярны поверхности заземлителя. (рис.3)

Задача сводится к нахождению потенциала на поверхности земли на расстоянии  $x$  от точки стекания тока на землю.

$$\varphi_a = \int_a^{\infty} dU \quad (1)$$

Выделив на расстоянии  $x$  от заземлителя элементарный шаровой слой толщиной  $dx$ , найдем падение напряжения в этом слое.

$$dU = Edx \quad (2)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля.

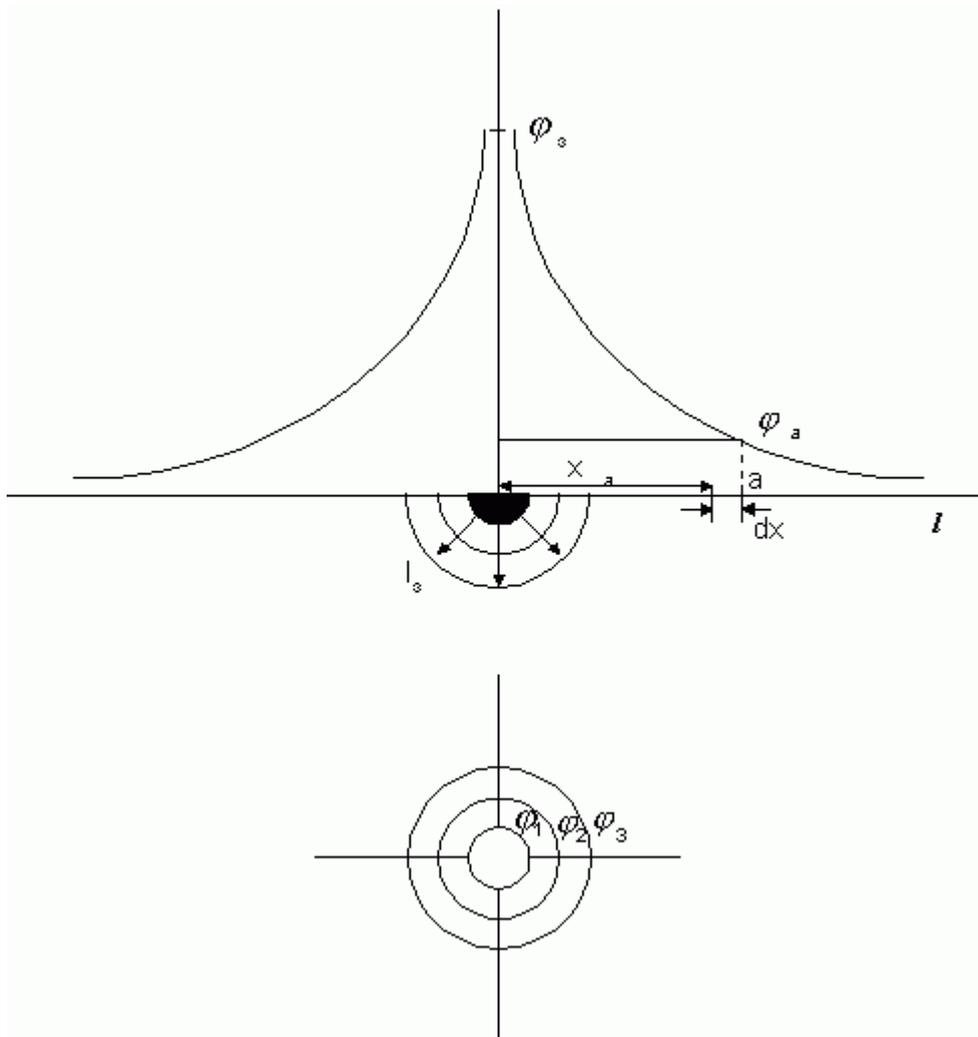


Рис. 3. Схематичное изображение растекания тока замыкания на землю в грунте через полусферический заземлитель.

Напряженность электрического поля в точке  $a$ , находящейся на расстоянии  $x$  от центра заземлителя

$$E = j \times \rho \quad (3)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом $\times$  м (сопротивление куба грунта с ребром длиной 1м).

$j$  – плотность тока в точке  $a$

$$j = \frac{I_3}{2\pi x^2} \quad (4)$$

где

$I_3$  – ток замыкания на землю, А.

Отсюда

$$dU = \left( \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} \right) dx \quad (5)$$

$$\varphi_a = \int_{x_a}^{\infty} \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} dx = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} \quad (6)$$

Таким образом, потенциал любой точки, находящейся на расстоянии  $x$  от заземлителя, равен

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} \quad (7)$$

Экспериментально установлено, что на расстоянии 1м от заземлителя потенциал уменьшается на 68%, 10м – 92%, 20м – 100%.

### Напряжение прикосновения

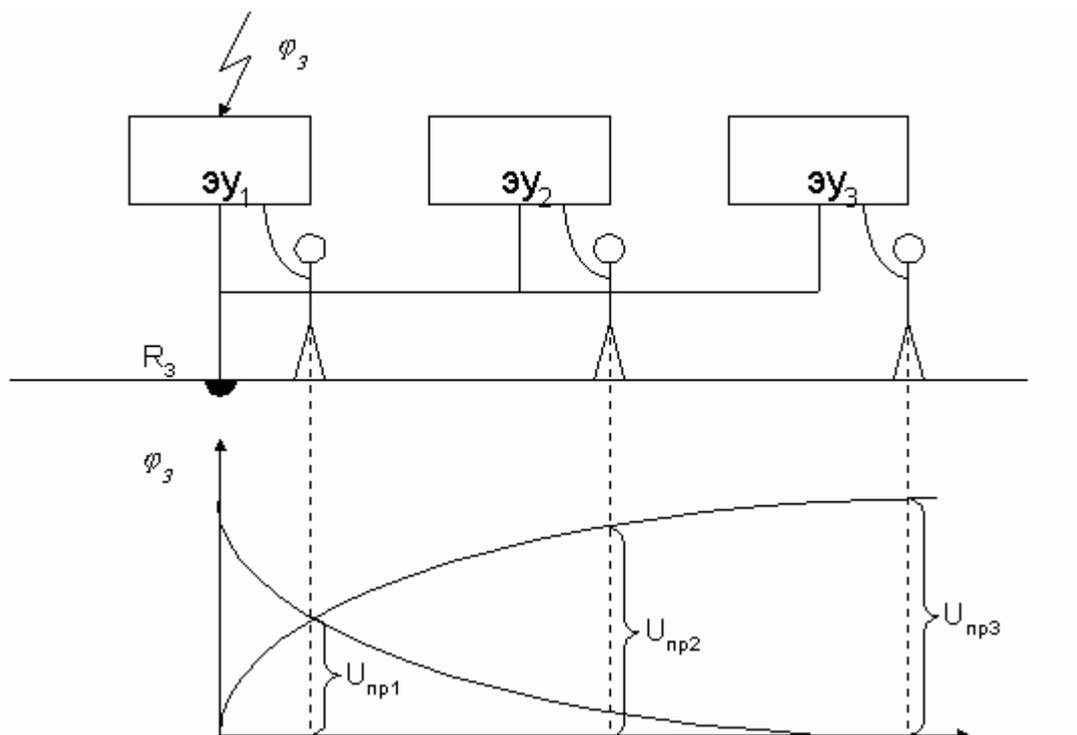


Рис. 4. Напряжение прикосновения к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением.

При пробое изоляции на корпус, присоединенный к заземлителю, все оборудование, имеющее электрический контакт с этим корпусом, окажется под напряжением, равным потенциалу заземлителя относительно земли:

$$U_3 = \varphi_3 = I_3 \times R_3 \quad (7)$$

Если человек касается рукой корпуса, соединенного с заземлителем, то рука его приобретает потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , который равен  $I \times \rho / 2\pi x_3$ .

Если в это время человек стоит на грунте на расстоянии  $x$  от заземлителя, потенциал ног  $\varphi_x$  будет равен

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} \quad (8)$$

в результате между рукой и ногами человека возникает разность потенциалов

$$U = \varphi_3 - \varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi^2} \cdot \frac{x - x_3}{x} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_3} \cdot \left(1 - \frac{x_3}{x}\right) \quad (9)$$

На рис.4 показаны три корпуса электроприборов, присоединенных к заземлителю  $R_3$ . Потенциалы всех корпусов одинаковы и равны потенциалу заземлителя  $\varphi_3$ , так как они связаны с заземляющими проводами, сопротивления которых пренебрежимо мало.

При замыкании на корпус любого из этих приборов распределение потенциалов на поверхности грунта определяется кривой I. Напряжение прикосновения равно разности потенциалов рук и ног (кривая II). Если человек стоит непосредственно над заземлителем и касается корпуса, оказавшегося под напряжением, то потенциалы рук и ног одинаковы и напряжение прикосновения равно нулю. По мере удаления от заземлителя напряжение прикосновения возрастает и в случае, когда человек находится вне зоны растекания тока и касается корпуса, оказавшегося под напряжением, достигает значения потенциала заземлителя  $\varphi_3$ .

### **Напряжение шага**

Человек, находящийся в зоне растекания тока, может оказаться под напряжением, не касаясь каких-либо частей электроустановки. При замыкании на землю одного из проводов сети распределение потенциала изображено на рис.5.

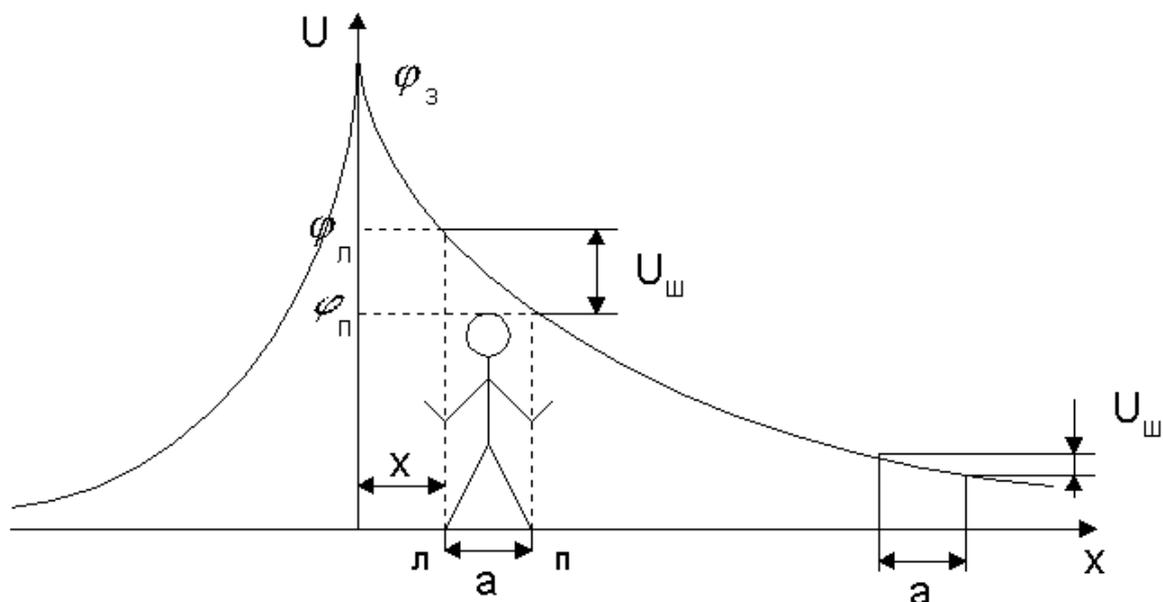


Рис. 5. Напряжение шага.

$$U_{ш} = \varphi_{л} - \varphi_{п} = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{x} - \frac{I_3 \rho}{2\pi(x+a)} = \frac{I_3 \rho a}{2\pi(x+a)} \quad (10)$$

$a$  – длина шага.

Напряжением шага называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага.

Если обе ноги человека находятся на одной линии равного потенциала, то напряжение шага равно нулю.

Наибольшее значение  $U_m$  будет в случае, когда человек одной ногой стоит на заземлителе, а другой – на расстоянии шага от него.

При воздействии  $U_m$  ток через человека протекает по пути “нога-нога”, но если этот ток достигает величины, вызывающей судороги в мышцах ног, то человек может упасть и ток будет протекать по пути “руки-ноги”. Судороги ног возникают при  $U_m$  90 В. кроме того, при падении, человек может касаться точек грунта с большей разностью потенциалов, т.к. рост человека всегда больше длины его шага. По условиям электробезопасности запрещено приближаться к месту замыкания на землю одного из проводов сети на расстояние менее 4-5м в закрытых распределительных устройствах и 8-10м – на открытых подстанциях. Защитными средствами от напряжения шага служат диэлектрические боты, галоши, сапоги.

#### **Анализ условий электробезопасности**

Электрические сети и установки принято разделять на сети и установки напряжением до 1000 В и напряжением свыше 1000 В.

Электрические сети подразделяются по количеству токонесущих проводов на: однопроводные, двухпроводные, трехпроводные и четырехпроводные.

В однопроводной сети (рис.6) вторым проводом является рельс или земля. По этой схеме работают трамвайные, электровозные, иногда сварочные установки. Двухпроводные сети (рис.7) – сети постоянного и одноразового переменного токов. Трехпроводные сети переменного тока – сети трехфазного тока с изолированной или заземленной нейтралью (рис.8). Четырехпроводные сети – сети трехфазного тока с заземленной нейтралью и нулевым проводом (рис. 9).

Нейтраль (нейтральная точка источника) – есть точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов есть величина постоянная.

$$U = \varphi_3 - \varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} \cdot \frac{x - x_3}{x} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_3} \cdot \left(1 - \frac{x_3}{x}\right)$$

Рис. 6. Схема однопроводной сети

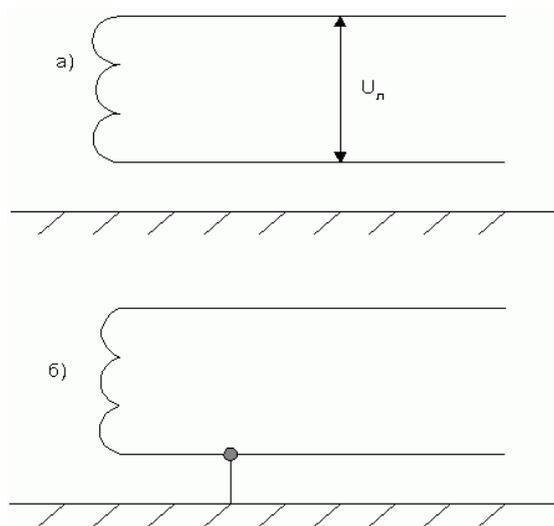


Рис. 7. Схема двухпроводной сети: а) изолирована от земли; б) с заземленным

ВЫВОДОМ

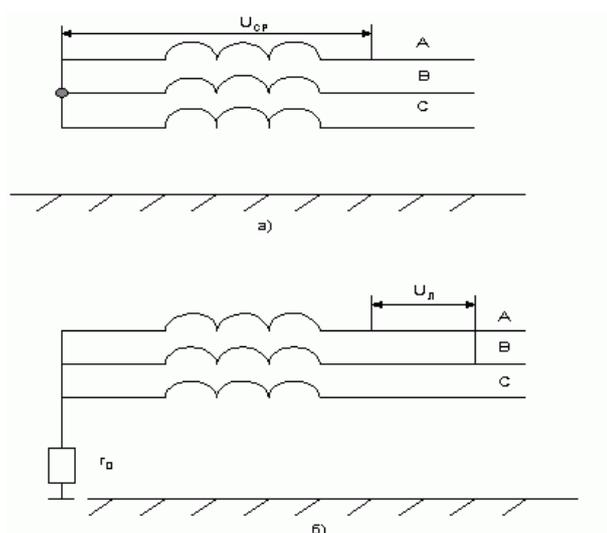


Рис. 8. Схема трехфазной трехпроводной сети с изолированной (а) и заземленной нейтралью (б)

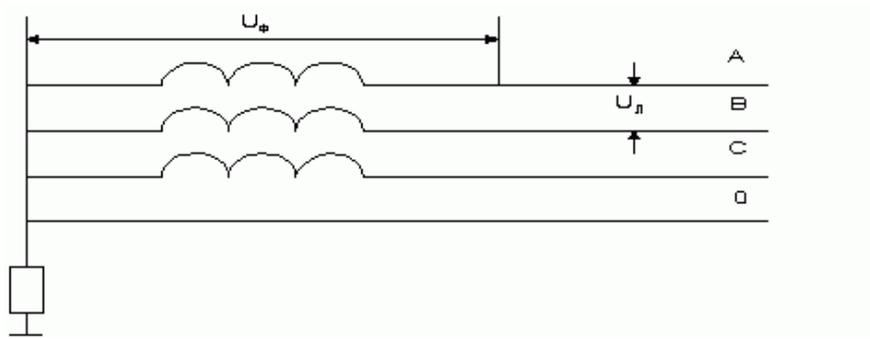


Рис. 9. Схема трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью

$U_{\phi}$  - фазное напряжение;

$U_{л}$  - линейное напряжение сети

Каждый фазный провод относительно земли обладает активным (омическим) и реактивным (емкостным) сопротивлением (рис. 10)

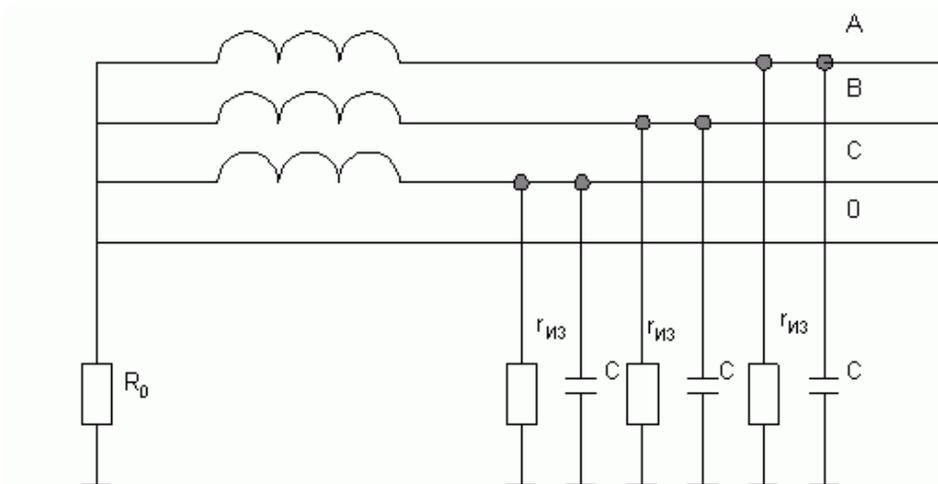


Рис. 10. Схема трехфазной четырехпроводной сети

Основными причинами поражения током являются:

- 1). Случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- 2). Появление на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного или произвольного включения;
- 3). Появление напряжения на металлических конструктивных частях установки вследствие замыкания фазы на корпус;
- 4). Появление напряжения шага на поверхности земли вследствие замыкания фазы на землю;
- 5). Наличие остаточного заряда.

Оценка опасности прикосновения к токоведущим частям сводится к определению силы тока, протекающего через тело человека и сравнению его с допустимым значением. В общем случае величина тока, протекающего через тело, человека зависит от схемы электрической установки, рода и величины напряжения питания.

Сопротивление тела человека для расчетов принимается равным  $R_n = 1000 \text{ Ом}$ .

Емкостью фазным проводов, на частоте 50 Гц пренебрегают.

Рассмотрим схемы включения человека в электрическую сеть (рис.11).

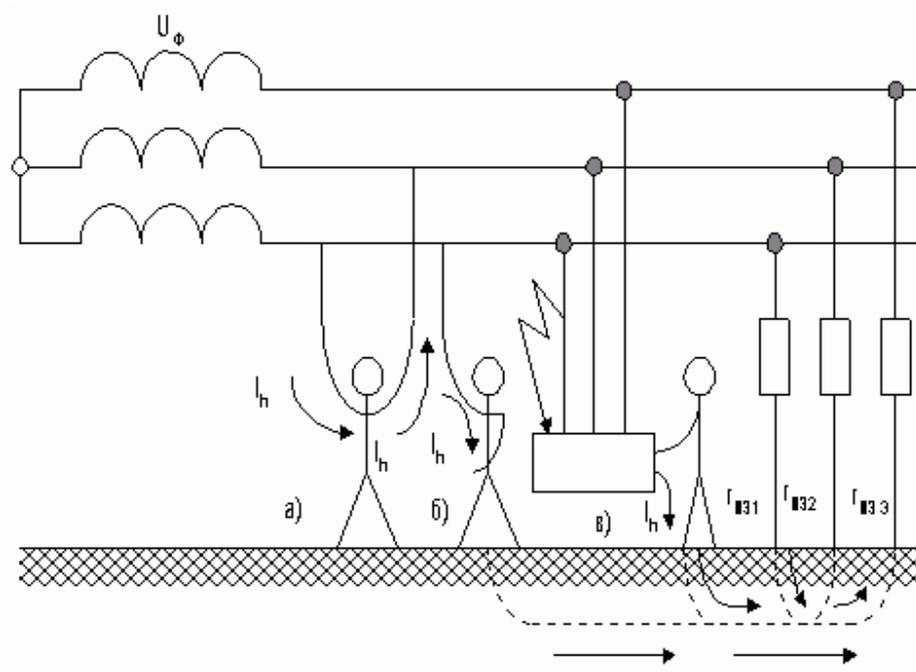


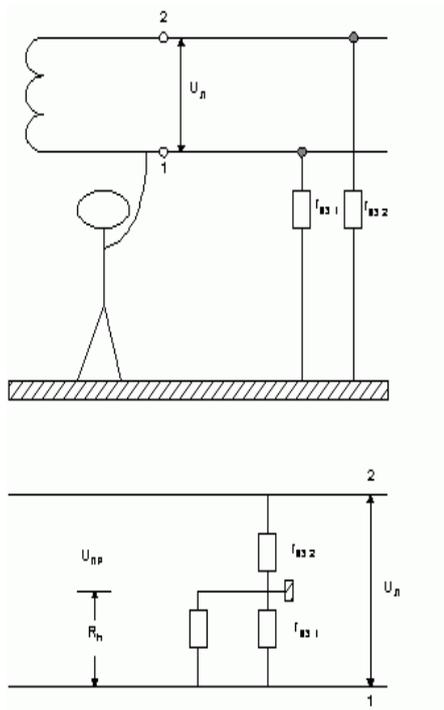
Рис. 11. Включение человека в цепь тока:

а) двухфазное включение, б) и в) однофазное включение:  $I_h$  – ток через тело человека,  $r_{из1}$ ,  $r_{из2}$ ,  $r_{из3}$  – сопротивление изоляций фаз,

$U_\phi$  – напряжение между фазой и нейтральной точкой,  $U_\Delta$  – напряжение в линии.

Наиболее характерны две схемы включения человека в электрическую сеть: между двумя фазами и между фазой и землей. Первую схему обычно называют двухфазным включением, а вторую – однофазным (рис. 11 а, б, в).

В качестве примера двухфазного включения может быть названо случайное прикосновение к другой фазе при работе на электрощитке под напряжением.



Ток через тело человека в этом случае определяется:

$$I_h = \frac{U_n}{R_h}, \text{ A} \quad (12)$$

Где  $U_n$  – линейное напряжение, В

$R_h$  – сопротивление тела человека

Для сети 380/220 В:

$$I_n = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A,}$$

величина тока смертельная.

При двухполюсном касании величина тока, проходящего через тело человека, практически не зависит от режима нейтрали сети, поэтому двухфазное прикосновение одинаково опасно как в сети с изолированной, так и в сети с глухозаземленной нейтралью.

Однофазное включение наблюдается весьма часто: работа под напряжением при отсутствии защитных средств, при пользовании приборами с плохой изоляцией токоведущих частей, при переходе напряжения на металлические части оборудования, лишенного надлежащей защиты. На рис.12 приведена схема однофазного прикосновения и эквивалентная схема.

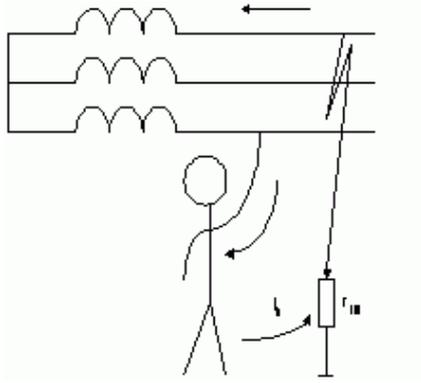


Рис. 12. Схема однофазного прикосновения человека к сети.

Сопротивление провода по отношению к земле называется сопротивлением изоляции  $r_{из}$  (или сопротивлением утечки).

$$r_{из1} = r_{из2}$$

В установках до 1000 В  $r_{из} = 500 \text{ кОм}$ .

$$I_h = \frac{U_{л}}{2R_h + r_{из}}$$

Если  $U_{л} = 220 \text{ В}$ ,  $r_{из} = 500 \text{ кОм}$ , то

$$I_h = \frac{220}{2 \cdot 10^3 + 500 \cdot 10^3} = 0,44 \text{ mA}$$

Чем больше сопротивление изоляции  $r_{из}$ , тем меньшей величины ток будет проходить через человека.

Трехфазная сеть с изолированной нейтралью:

- а) нормальный режим работы, когда  $r_{из}$  относительно земли имеет большое значение
- б) аварийный режим (рис.13)

Ток через тело человека при однофазном прикосновении в сети с изолированной нейтралью определяется:

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + \frac{r_{из}}{3}}, \quad A \quad (14)$$

Из (14) следует, что при нормальном режиме работы сети (т.е.  $r_{из}$  велико) прикосновение не опасно.

В большинстве случаев персонал, обслуживающий электроустановки, прикасается к одному полюсу (голому проводу, зажиму), стоя на полу, сопротивление которого включено последовательно с телом человека. Сопротивление обуви и пола является существенным

фактором, определяющим последствия прикосания человека к токоведущим частям в установках напряжением до 1000 В.

При учете сопротивлений пола и обуви  $r_n$ ,  $r_{об}$  расчетная формула для тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении будет иметь вид:

$$I_h = \frac{U\phi}{R_h + \frac{r_{уз}}{3} + r_n + r_{об}}; \quad A \quad (15)$$

Электрическое сопротивление некоторых видов полов очень велико и может служить эффективной мерой защиты человека от поражения. Загрязнение пола кислотами и щелочами снижает величину дополнительного сопротивления. Данные по сопротивлению пола и обуви приведены в таблице 2.

б). Под аварийным режимом понимается снижение сопротивления изоляции провода, замыкание на землю (рис. 13).

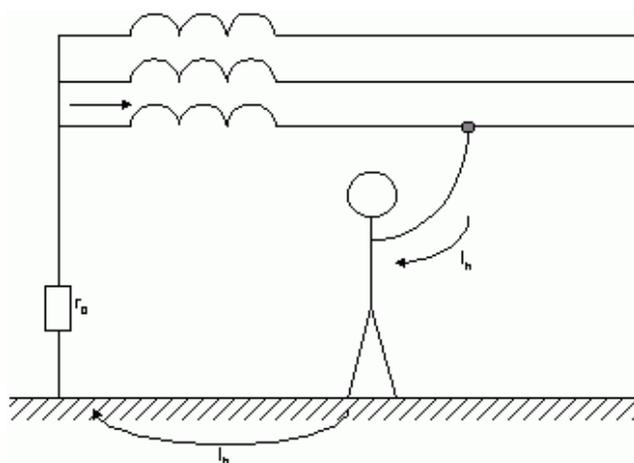


Рис. 13. Схема однофазного прикосновения при пробое фазы на землю

Ток через тело человека будет определяться:

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h + r_{зм}}; \quad A \quad (16)$$

$r_{зм}$  – сопротивление замыкания фазы на землю ( $r_{зм} \gg 50 \text{ё } 100 \text{ Ом}$ ).

$$I_h = \frac{380}{1000+100} \approx 340 \quad mA$$

Таблица 2. Электрическое сопротивление полов, выполненных из различных материалов(по площади соприкосновения ступеней ног человека)

Вид пола	Состояние пола	Сопротивление, Ом
Плитки метлахские на бетонном основании	С нормальной относительной влажностью в помещении, равной 70%	20000
	В помещении с повышенной влажностью	5000
	Сырой	800
	Покрыт водой	300
	У станка загрязнен охлаждающей жидкостью и металлическими опилками	8 - 90
Бетонный	Сухой в конторском помещении	2000000
	То же, в помещении с нормальной влажностью	100000
	То же, в неотапливаемом помещении с повышенной влажностью	300
	Сырой	200
	Покрыт водой	50
	Покрыт водой со щелочью	10
Деревянный и торцовый на бетоне	Загрязнен металлической стружкой и охлаждающей жидкостью	300
Земляной	В помещении с нормальной влажностью	800
	То же, промасленный	500
Асфальтовый толщиной 20 мм на бетоне	Сухой, новый	2000000
	Загрязнен металлическими стружками и охлаждающей жидкостью	10000
	То же, пропитан кислотами	4
Кирпичный	Сырой	1500

Таблица 3. Электрическое сопротивление рабочей обуви.

Помещения	Материал подошвы обуви	Сопротивление, кОм при напряжении в сети, В			
		до 65	127	220	Выше 220
Влажные и сырые	Кожа	1,5	0,8	0,5	0,2
	Кожемит	2,0	1,0	0,7	0,5
	Резина	2,0	1,8	1,5	1,0
Сухие	Кожа	200	150	100	50
	Кожемит	150	100	50	25
	Резина	500	500	500	500

Рассмотрим опасность прикосновения человека в сети с глухозаземленной нейтралью.

Как уже было сказано, при двухполюсном прикосновении режим нейтрали не будет оказывать влияния на величину тока  $I_h$ .

а) Условия безопасности при однополюсном прикосновении будут находится в прямой зависимости от сопротивления тела человека, материала обуви, пола, а также от сопротивления заземления нейтрали источника тока. В сети с заземленной нейтралью положительная роль изоляции проводов практически полностью утрачена (рис. 14).

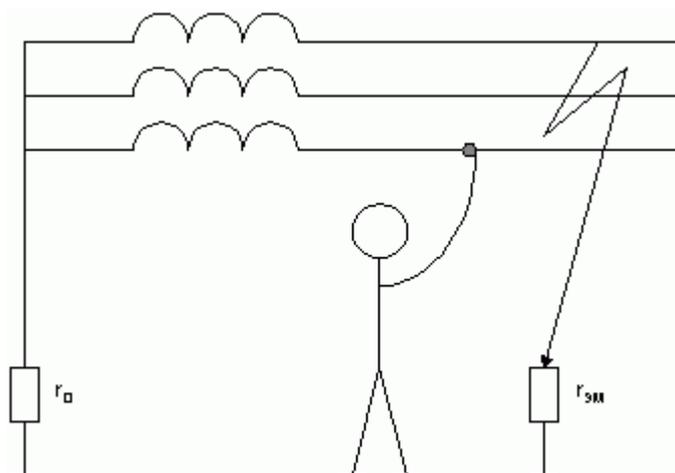


Рис. 14. Схема однофазного прикосновения в сети с глухозаземленной нейтралью

Ток через тело человека будет определяться по следующей формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, \quad A \quad (17)$$

Где  $r_0$  – сопротивление заземления нейтрали источника

По условиям ПУЭ (правилам устройства электроустановок): при  $U_n=660$  В,  $r_0=2$  Ом;  $U_n=380$  В,  $r_0=4$  Ом;  $U_n=127$  В,  $r_0=8$  Ом

$$I_h = \frac{220}{1000+4} \approx 200 \text{ mA}$$

б)

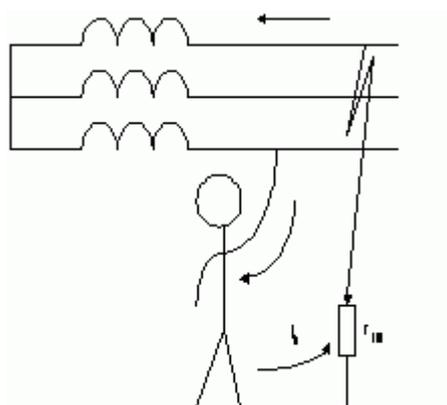


Рис. 15 Схема однофазного прикосновения при пробое фазы на землю

Возможны следующие варианты:

1).  $r_0 \approx 0$ ;  $r_{3M} \approx 0$ ;  $U_{пр} \approx U_\phi$ ;

2).  $r_{0\text{№}} \ll 0$ ;  $r_{3\text{м}} \ll 0$ ;  $U_{\text{пр}} \ll U_{\text{л}}$ ;

3).  $r_{0\text{№}} \ll 0$ ;  $r_{3\text{м}} \ll 0$ ;  $U_{\text{л}} > U_{\text{пр}} > U_{\text{ф}}$

Напряжение прикосновения в данном случае будет больше  $U_{\text{ф}}$ , но меньше  $U_{\text{л}}$ , что одинаково опасно для человека.

### **Выбор схемы сети и режима нейтрали**

I. До 1000 В.

По технологическим требованиям более удобной является схема трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью (рис.), т.к. она позволяет получить два рабочих напряжения  $U_{\text{ф}}$  и  $U_{\text{л}}$ .

По условиям безопасности предпочтительнее пользоваться трехфазной трехпроводной сетью с изолированной нейтралью (рис.) на тех предприятиях, где осуществляется постоянный надзор и контроль за состоянием электроустановок, где обеспечивается высокое качество сопротивления изоляции проводов, своевременно производятся профилактические осмотры и ремонты сети и немедленное устранение возможных замыканий фаз на землю.

В сетях, не находящихся под постоянным надзором и контролем, в тех случаях, когда возможны частые замыкания на землю из-за понижения сопротивления изоляции проводов, необходимо иметь сеть трехфазного тока с заземленной нейтралью (рис. ). Если условия работы неблагоприятны (большая влажность воздуха, наличие в помещении газов и паров, разрушающих изоляцию, низкая квалификация обслуживающего персонала), также предпочитается сеть с заземленной нейтралью.

II. Выше 1000 В.

До 35 кВ по техническим требованиям сети должны иметь изолированную нейтраль, свыше 35 кВ – заземленную нейтраль.

По условиям безопасности выбор сети не производится, т. к. эти сети имеют большую протяженность, большое емкостное сопротивление изоляции и одинаково опасным является прикосновение к сети с любым режимом нейтрали.

### **Лекция 3 Электрические и магнитные поля промышленных и бытовых электроприборов**

В современных условиях развития общества при активном внедрении многих видов энергетики электромагнитные излучения приборов и устройств занимают одно из ведущих мест по своей экологической значимости среди других факторов окружающей среды.

В целом общий электромагнитный фон состоит из источников излучений естественного (электрические и магнитные поля Земли, атмосферные явления, радиоизлучения Солнца и галактик) и искусственного (антропогенного) происхождения

(теле- и радиостанции, линии электропередачи, электробытовая техника и др.). Уровень антропогенного электромагнитного фона, как правило, бывает на несколько порядков выше уровней электромагнитных излучений, создаваемых естественными источниками. Электромагнитные излучения космического, околоземного и биосферного пространств играют определённую роль в организации жизненных процессов на Земле, и в ряде случаев выявляется их биологическая значимость. Антропогенные излучения в целом ряде случаев значительно превышают допустимые уровни. В реальной практике для характеристики электромагнитной обстановки на конкретных рабочих местах при работе с электрическими приборами используют термины «электрическое поле», «магнитное поле», «электромагнитное поле», между которыми существует определённая взаимосвязь.

### Электромагнитные поля

Электромагнитное поле (ЭМП) – это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Представляет собой взаимосвязанные переменные электрическое поле и магнитное поле. Взаимная связь электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей (рис. 16) заключается в том, что всякое изменение одного из них приводит к появлению другого: переменное электрическое поле, порождаемое ускоренно движущимися зарядами (источником), возбуждает в смежных областях пространства переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает в прилегающих к нему областях пространства переменное электрическое поле, и т.д. Таким образом, электромагнитное поле распространяется от точки к точке пространства в виде электромагнитных волн, бегущих от источника. Электромагнитное поле в вакууме описывается напряжённостью электрического поля  $E$  и магнитной индукцией  $B$ . Электромагнитные волны широко используются в радиосвязи, радиолокации, телевидении, медицине, биологии, физике, астрономии и других областях науки и техники.

Радиочастоты и сверхвысокие частоты являются составной частью спектра электромагнитных излучений (ЭМИ) в частотном диапазоне от единиц Гц до 300 ГГц. Основными параметрами ЭМИ являются длина

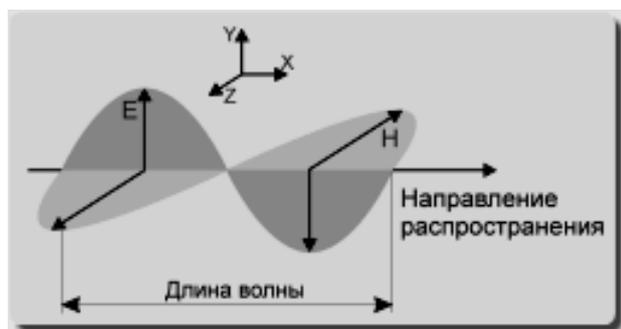


Рис. 16. Электрическое и магнитное поля электромагнитных волн ( $\lambda$ ) и частота ( $f$ ), которая связана с длиной волны обратной зависимостью (для условий распространения волны в воздухе):  $f = c/\lambda$ , где  $c$  – скорость света. Частоты колебаний ЭМИ измеряются в герцах (Гц): 1 килогерц (кГц) =  $10^3$  Гц, 1 мегагерц (МГц) =  $10^6$  Гц, 1 гигагерц (ГГц) =  $10^9$  Гц. Классификация РЧ и СВЧ приведена на рис. 17. Электрическое поле представляет собой частную форму проявления электромагнитного поля. В своём проявлении это силовое поле, основным свойством которого является способность воздействовать на внесённый в него электрический заряд с силой, не зависящей от скорости заряда. Источниками электрического поля могут быть электрические заряды (движущиеся и неподвижные) и изменяющиеся во времени магнитные поля. Основная количественная характеристика электрического поля – напряжённость электрического поля  $E$ . Для характеристики величины электрического поля используется понятие «напряжённость электрического поля»  $E$ , В/м (вольт на метр). Электромагнитные излучения промышленных частот подразделяются на отдельные группы (табл.). Магнитное поле представляет собой частную форму электромагнитного поля. В своём проявлении это силовое поле, основным свойством которого является способность воздействовать на движущиеся электрические заряды (в том числе на проводники с током), а также на магнитные тела независимо от состояния их движения. Источниками магнитного поля могут быть движущиеся электрические заряды (проводники с током), намагниченные тела и изменяющиеся во времени электрические поля.

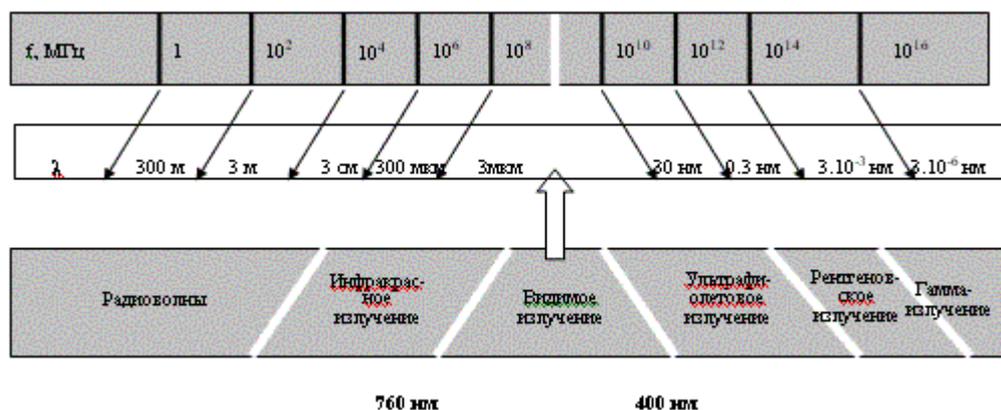


Рис. 17. Полный диапазон электромагнитных волн

Электромагнитные излучения промышленной частоты. Основная количественная характеристика магнитного поля магнитная индукция  $B$ , которая определяет силу, действующую в данной точке поля в вакууме на движущийся электрический заряд и на тела, имеющие магнитный момент. Величина магнитного поля характеризуется напряжённостью магнитного поля  $H$ , А/м (ампер на метр). При измерении сверхнизких и крайне низких частот часто также используется понятие «магнитная индукция»  $B$ . Единица измерения Тл (тесла). На практике

используют более мелкие единицы измерения напряжённости магнитного поля мкТл (10–6 Тл). В материальных средах для магнитного поля вводится дополнительная характеристика – напряжённость магнитного поля  $H$ , которая связана с магнитной индукцией соотношением  $H = B/\mu$ , где  $\mu$  – магнитная проницаемость среды. Наиболее распространёнными являются электромагнитные излучения сверхнизкочастотного диапазона (СНЧ) – 50, 60 Гц. Источниками электромагнитных излучений являются токоведущие элементы электрических установок, в частности подводящие электрическую энергию провода. Человек в современных условиях постоянно находится вблизи электрических установок, длительное воздействие электромагнитных полей которых может вызвать нарушение нормального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Симптомами этих нарушений являются повышенная утомляемость, снижение качества работы, сильные боли в области сердца, повышение кровяного давления и увеличение пульса. Воздействия электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля на человека являются различными, поэтому для оценки условий работы необходимо учитывать отдельно электрическую и магнитную напряжённость поля. Как правило, влияние напряжённости магнитного поля проявляется при значительных его величинах, и оценку влияния электромагнитного излучения можно производить только по величине электрической напряжённости поля. Однако при работе с достаточно мощными, в том числе и с бытовыми, электрическими приборами необходимо учитывать и магнитную напряжённость электромагнитного поля. Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, являются источниками электромагнитных полей. На рисунках 18 и 19 представлены типичные диаграммы электрического и магнитного полей бытовых приборов.

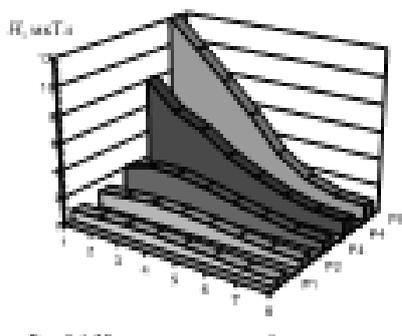


Рис18. Магнитное поле трансформатора питания зарядного устройства автомобильного аккумулятора

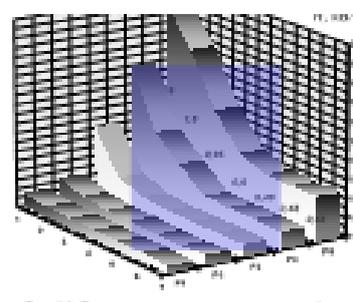


Рис. 19. Электрическое поле зарядного устройства сотового телефона

Наиболее мощными следует считать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой «без инея», кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа.

Все нижеприведённые данные относятся к магнитному полю промышленной частоты 50 Гц. Значения магнитного поля связаны с мощностью прибора – чем она выше, тем выше магнитное поле при его работе. Значения электрического поля промышленной частоты практически всех электробытовых приборов не превышают нескольких десятков В/м на расстоянии 0,5 м, что значительно меньше ПДУ, равного 500 В/м. В таблице 9.2 представлены данные о расстоянии, на котором фиксируется магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) величиной 0,2 мкТл при работе ряда бытовых приборов. В соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к жилым зданиям и помещениям СанПиН 2.1.2.1002–00 напряжённость поля промчастоты не должна превышать 0,5 кВ/м, а магнитная индукция – 10 мкТл. По некоторым зарубежным данным, с учётом жёстких требований магнитная индукция не должна превышать 0,2 мкТл. Сложные электронные устройства могут излучать электромагнитные излучения сразу в нескольких диапазонах, что требует дифференцированной оценки их опасности. Наиболее типичным представителем таких приборов являются персональные компьютеры с электронно-лучевыми трубками монитора. Основными составляющими частями персонального компьютера являются системный блок (процессор) и разнообразные устройства ввода/вывода информации: клавиатура, дисковые накопители, принтер, сканер и т.п. Каждый персональный компьютер включает средство визуального отображения информации, называемое по-разному – монитор, дисплей, главным компонентом которого часто является устройство на основе электронно-лучевой трубки. ПК часто оснащают сетевыми фильтрами (например, типа «Pilot»), источниками бесперебойного питания и другим вспомогательным электрооборудованием. Все эти элементы при работе ПК формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя (табл.). Кроме того, на рабочем месте пользователя источниками более мощными, чем компьютер, могут выступать объекты, расположенные рядом: трансформаторные подстанции; распределительные щиты; электропроводка; бытовые и офисные электроприборы (у всех источников первая гармоника – 50 Гц); телевизоры (0...15,6 кГц); соседние ПК (0...1000 МГц) и т.д. При этом общая картина электромагнитного поля на рабочем месте может быть очень сложной (рис. 20). Электромагнитные поля могут в локальных точках помещения суммироваться, создавая опасные зоны для человека. Среди наиболее опасных источников, излучающих в помещении, но находящихся вне их, особое место занимают трансформаторные подстанции, распределительные щиты электропитания, кабели электропитания.

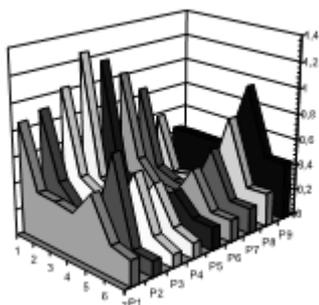


Рис. 20. Пример типичного распределения магнитного поля в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц в помещении, оснащённом компьютерами

Наличие их можно в большинстве случаев определить визуально, однако безопасное расстояние можно определить только с помощью специальных приборов. Типичное безопасное расстояние – 1,5...5 м. Наибольшее влияние на электромагнитную обстановку жилых помещений в диапазоне промышленной частоты 50 Гц оказывает электротехническое оборудование здания, а именно кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям системы жизнеобеспечения здания, распределительные щиты и трансформаторы. Наиболее сильным источником излучения является общий силовой кабель подъезда. Пример распределения магнитного поля промышленной частоты в помещении, в котором излучает внешний источник, приведён на рис. 21. Зону для выбора спального места (безопасная зона) необходимо выбирать на расстоянии 3...5 м. В помещениях, смежных с этими источниками, обычно уровень электрического поля промышленной частоты не превышает ПДУ для населения 500 В/м.

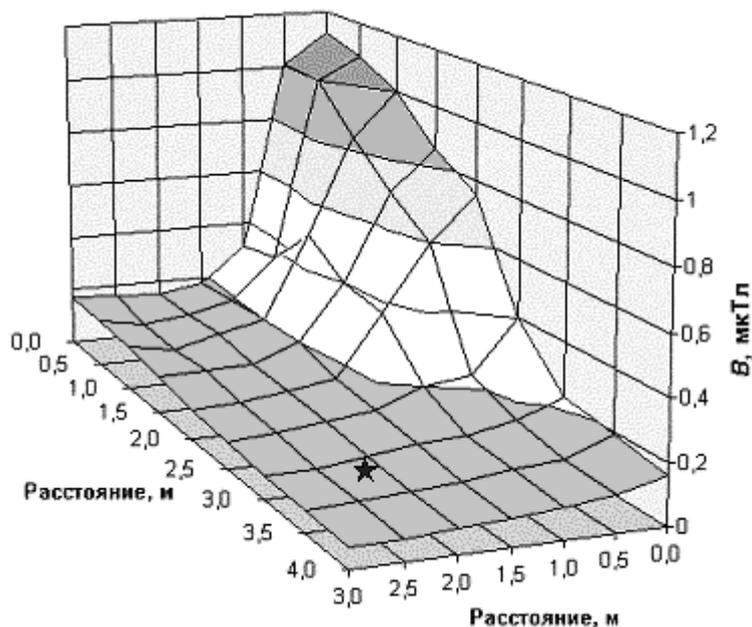


Рис. 21. Распределение магнитного поля промышленной частоты в жилом помещении. Источник магнитного поля – распределительный щит электропитания, находящийся в

смежном нежилом помещении Звёздочкой показана зона с безопасным для здоровья уровнем магнитного поля.

### ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Для ослабления электромагнитных полей широко используется принцип экранирования, позволяющий значительно ослабить интенсивность электромагнитных полей за пределами экранирующих устройств. Как правило, для электромагнитных материалов используют металлы: сталь, медь, алюминий, ферриты. Принцип действия электромагнитного экрана состоит в том, что поток электромагнитной энергии отражается и направляется от защищаемой области пространства. Количественно эффективность  $\mathcal{E}$  электромагнитных экранов характеризуется отношением напряжённости полей в защищаемой области пространства при отсутствии экрана ( $E_0$ ) и при его наличии  $E_{\mathcal{E}}$ :

$$\mathcal{E} = E_0 / E_{\mathcal{E}} .$$

В общем случае экран кроме ослабления производит также и искажение поля в защищаемой области пространства. Только для экранов простейших форм эффективность экранирования можно определить однозначно. В реальной практике при расчёте сложных экранов прибегают к ряду условностей и допущений. Эффективность плоского экрана можно определить по формуле

$$\mathcal{E}_{пл} = 60\pi\sigma d,$$

где  $\sigma$  – удельная проводимость материала экрана, См/м (сименс на метр);  $d$  – толщина материала экрана, м.

В реальной практике достаточно часто экранированные электрические приборы излучают электромагнитные колебания по проводам электропитания. В этом случае прибегают к дополнительному экранированию этих проводов. Экранирование длинных линий электропитания осуществляется путём заключения их в металлические оболочки – сплошные или изготовленные в виде оплётки. Эффективность длинного однородного цилиндрического экрана с радиусом  $R$  и толщиной стенок  $d$  можно определить с достаточной для инженерной практики точностью по формуле

$$\mathcal{E} = 0,16 \mathcal{E}_{пл}\lambda / R,$$

где  $\mathcal{E}_{пл}$  – эффективность плоского экрана;  $\lambda = 3 \cdot 10^8 / f$ , м;  $f$  – частота электромагнитного излучения, Гц;  $R$  – радиус цилиндрического экрана, м.

### **Лекция 4 Электростатическая искробезопасность (эсиб) и защита от статического электричества**

Опасность статической электризации и ее разнообразных проявлений сопряжена с разрядами статического электричества и их способностью зажигать горючие газы, пары или пыли в среде воздуха.

Наряду со специфичными техническими решениями, предусматривающими предупреждение образования взрывоопасных смесей и возникновение загораний, пожаров и взрывов, разрабатываются и применяются устройства, способы и средства защиты от опасных проявлений статического электричества (см.табл.4). Мероприятия по защите от статического электричества должны осуществляться во взрывопожароопасных зонах помещений и зонах наружных взрывоопасных установок, отнесенных к классам В - I , В - Ia , В - I б, В - I г, В - II , В- II а, II- I , II- II . Защите подлежат: человек (см.табл.5) или биологические объекты; объекты, чувствительные к зажигающему или инициирующему взрыв воздействию разрядов статического электричества; объекты, подлежащие защите от пробоя или появления дефектов от разрядов статического электричества, а также объекты, необходимость защиты которых вызвана технологическими причинами. Разрабатываются способы и устройства, позволяющие обеспечивать нормальный ход производства или технологического процесса, ослаблять силовые проявления электростатических полей, устранять дефекты продукции, воздействие разрядов на светочувствительные материалы, снижать скорость старения и загрязнения декоративных поверхностей и т. п.

Таблица 4

Опасные проявления статического электричества	Система и критерии безопасности
Пожаро- и взрывоопасность	Электростатическая искробезопасность (ЭСИБ). Снижение риска зажигания, взрыва, пожара или ущерба до нормируемого значения
Опасное воздействие на человека	Санитарные нормы. Ограничение времени пребывания на рабочем месте. Исключение нежелательных воздействий разрядов на человека
Помехи в радиосвязи	Сертификация радиотехнической продукции на помехозащищённость от разрядов статического электричества

Таблица 5

Вид средств защиты	Перечень средств защиты
Средства индивидуальной защиты	Антиэлектростатическая одежда и обувь, средства защиты рук, антиэлектростатические кольца и браслеты
Средства коллективной защиты	Заземляющие устройства и полы; индукционные, высоковольтные, лучевые и аэродинамические нейтрализаторы; распылительные, испарительные и холодильные увлажняющие устройства; антиэлектростатические вещества, вводимые в объём материала или наносимые на поверхность, экранирующие устройства, козырьки и перегородки, ослабляющие напряжённость поля на рабочем месте

При разработке и применении средств и способов пожаротушения важно учитывать также требования ЭСИБ, санитарные нормы по предупреждению нежелательного воздействия процессов электризации на человека, возможность пробоя или появления нежелательных электростатических нагрузок на стенки из неметаллических материалов, помех радиосвязи, создаваемых разрядами статического электричества.

#### **Условия электризации и предельные параметры процессов электризации**

Таблица 6

Характер электризации	Параметр	Применение
Электризация без возникновения разрядов в газе	Разность потенциалов в разрядных промежутках не превосходит 300 В	Определяет требования к сопротивлению устройств и средств заземления
Электризация без возникновения разрядов, связанных с частичным или полным нарушением электрической прочности диэлектриков в жидкой или твёрдой фазе	Напряженность электростатического поля в твёрдом или жидком диэлектрике существенно меньше его электрической прочности	Определяет требования к ограничению зажигающей способности разрядов с электричества в газе или к ограничению области применения продукции
Электризация, не исключаящая возникновения разрядов, связанных с частичным или полным нарушением электрической прочности диэлектриков в жидкой или твёрдой фазе	Напряженность электростатического поля в твёрдом или жидком диэлектрике соизмерима с его электрической прочностью	Определяет требования к ограничению зажигающей способности разрядов статического электричества, связанных с частичным или полным нарушением электрической прочности жидких и твёрдых диэлектриков

Таблица 7

Процесс электризации (примеры)	Параметр и значение	Применение
Протирка диэлектрических поверхностей сухой бязью	Ток электризации человека до 0,6 мкА	Определяет требования к сопротивлению заземляющих устройств
Работа с углекислотным огнетушителем	Ток электризации человека до 100 мкА	
Процессы статической электризации в среде воздуха	Ток электризации в технологических процессах до 100 мкА Ток электризации человека в бытовых условиях до 1 мкА	Определяет требования к сопротивлению заземляющих устройств
Предельные значения параметров, характерных для процессов электризации в среде воздуха	Напряжённость поля $E_{пр} = 3 \cdot 10^6$ В/м. Поверхностная плотность зарядов $\sigma_{пр} = 26,4$ мкКл/м <sup>2</sup> . Плотность тока контактной электризации $j_{пр} = 100$ мкА/м <sup>2</sup> . Объёмная плотность энергии поля $W_{впр} = 40$ Дж/м <sup>3</sup> . Объёмная мощность процессов электризации (электростатического генерирования) $N_{впр} = 300$ Вт/м <sup>3</sup>	Учитываются при разработке и оценке эффективности средств защиты и при оценке соответствия объекта требованиям ЭСИБ

Система ЭСИБ учитывает условия электризации (табл.6 и 7), чувствительность к зажигающему воздействию разрядов (табл.8 и 9), состояние объекта защиты (табл.10 и 11) и параметры разрядов (табл. 11-14).

### Чувствительность к зажигающему воздействию разрядов

Чувствительность веществ и материалов к зажигающему воздействию разрядов статического электричества характеризуется: безопасным экспериментальным максимальным зазором (БЭМЗ или  $S_o$ ) или критическим расстоянием  $I_{кр}$  и температурой самовоспламенения  $T_{св}$ , минимальной энергией зажигания  $W_{мин}$  минимальным зарядом зажигания  $q_{мин}$ , минимальной линейной плотностью энергии зажигания  $WL_{мин}$ .

### Зажигающая способность разрядов статического электричества

Зажигающая способность разряда статического электричества может зависеть: от

энергии разряда  $W_s$ , Дж; заряда в униполярном импульсе разрядного тока  $q_s$ , Кл; геометрических параметров объекта, включая радиус кривизны проводящей поверхности  $R_s$ , м, на которую происходит разряд; характеристического линейного размера заряженной свободной диэлектрической поверхности  $L_s$ , м, и характеристического линейного размера  $l_s$ , м, полости со стенками из электропроводящего заземленного материала; максимального потенциала наэлектризованной диэлектрической среды  $V_s$ , В.

### Критерии электростатической искробезопасности

Электростатическую искробезопасность (ЭСИБ) объекта можно определить, сравнивая его параметры с критериальными (с подстрочным индексом "с") значениями, указанными в табл. 5.5. При этом параметр разряда с индексом s не должен превосходить критериальное значение, что предполагает соблюдение условия: "... s "≤" .... с "

Таблица 8

Чувствительность объекта к зажиганию $W_{мин}$ , мДж	Критерии ЭСИБ					
	$W_c$ , мДж	$q_c$ , мкКл	$R_c$ , мм	$l_c$ , м	$L_c$ , м	$V_c$ , кВ
0,18	0,07	0,036	2,5	0,02	0,02	14,3
0,30	0,12	0,052	3,3	0,06	0,03	17,5
1,00	0,40	0,16	6,5	0,28	0,10	29,5
2,00	0,80	0,31	8,5	0,36	0,13	36,6
3,00	1,20	0,44	10,0	0,41	0,15	42,0
5,00	2,00	0,66	13,0	0,51	0,19	52,1
10,00	4,00	1,20	16,0	0,62	0,23	62,1
15,00	6,00	1,80	19,0	0,72	0,26	71,8
20,00	8,00	2,40	22,0	0,81	0,29	81,6

Кроме критериев, указанных в табл. 8, используются критерии (см.табл.9), которые помимо чувствительности к зажигающей способности разрядов зависят еще и от геометрических параметров объекта. К ним относят нормальную к заряженной поверхности составляющую напряжённости электрического поля в газе  $E_c$ , поверхностную плотность электрических зарядов  $\sigma_c$ , время релаксации электрических зарядов  $\tau_c$  или комплексный параметр  $(\epsilon_r \nu)_c$ , зависящий от удельного сопротивления и относительной диэлектрической проницаемости наэлектризованной среды.

Пользоваться критериями  $R_c$ ,  $L_c$ ,  $l_c$ ,  $V_c$ ,  $V_c$ ,  $\tau_c$  и  $(\epsilon_r \nu)_c$  допустимо в случае, когда разряды возникают только в смесях горючих веществ с воздухом, но исключены скользящие искровые и другие разряды, характерные для сильных электростатических полей. Считается также, что разряды единичны, а ток электризации не определяет условий зажигания. Но следует учитывать, что токи зажигания в процессах электризации для объектов с наличием газоздушных взрывоопасных смесей с минимальной энергией 0,01 мДж (водородно-воздушная смесь) и 0,22 мДж (пропано-воздушная смесь) равны соответственно 10 и 200 мкА.

Таблица 9

Чувствительность объекта к зажиганию $W_{\text{мин}}$ , мДж	Критерии ЭСИБ			
	$E_c$ , кВ/м	$\sigma_c$ , мкКл/м <sup>2</sup>	$\tau_c$ , мс	$(\epsilon p_v)_c$ , ГОм м
Диаметр аппарата или емкости 12 м				
0,18	2,37	0,042	0,042	0,047
0,30	2,94	0,052	0,52	0,059
1,00	5,10	0,090	0,90	0,10
2,00	6,40	0,114	1,14	0,13
3,00	7,70	0,132	1,32	0,15
5,00	9,40	0,166	1,66	0,19
10,00	11,30	0,200	2,00	0,23
15,00	13,40	0,238	2,30	0,27
20,00	15,40	0,272	2,70	0,31
Диаметр аппарата или емкости 1 м				
0,18	29	0,52	5,2	0,59
0,30	39	0,69	6,9	0,78
1,00	98	1,74	17,4	2,00
2,00	138	2,45	24,5	2,80
3,00	170	3,00	30,0	3,40
5,00	240	4,30	43,1	4,90
10,00	330	5,90	58,9	6,70
15,00	430	7,60	76,4	8,60
20,00	540	9,60	95,5	10,80

**Требования к заземлению и данные по обеспечению ЭСИБ в некоторых технологических процессах**

Таблица 10

Объект	Назначение и допустимое сопротивление средств защиты	
	нижние значения	верхние значения
Тело человека	Защита от поражения электрическим током	Защита от опасных проявлений статического электричества
Строительные конструкции, оборудование, аппараты, коммуникации, подвижные объекты	Защита от опасных проявлений статического электричества	Предупреждение опасных проявлений: искр размыкания электрических цепей с ЭДС гальванического происхождения; блуждающих токов; токов электромагнитных вторичных проявлений молнии; токов, обусловленных воздействием магнитных бурь солнечно-земного происхождения, воздействием ЭМП радиочастот и т. п.
Строительные конструкции, оборудование, аппараты, коммуникации, подвижные объекты	Предупреждение опасных проявлений искровых разрядов в разрядных промежутках при прямых ударах молнии или при электростатических вторичных проявлениях молнии	Защита от опасных проявлений статического электричества
Электрическое сопротивление заземляющего устройства (исключительно для защиты от статического электричества)	Не нормируется	100 Ом
Оборудование, аппараты, коммуникации в пределах цеха, отделения или установки	Присоединяются не менее чем в двух местах к контуру заземления с сопротивлением растеканию тока до 100 Ом	
Резервуары и емкости объемом более 50 м <sup>3</sup>	Присоединяются к заземлителям не менее чем двумя проводниками	

Вентиляционные короба и кожуха теплоизоляции	Заземляются через каждые 40-50 м
Трубопроводы на наружных установках	Заземляются согласно требованиям РД 34.21.122-87 При молниезащите категории I сопротивление в соединениях $\leq 0,03$ Ом, при категории II - не менее 4 болтов на фланец
Диэлектрический трубопровод с обвивкой металлической провоолокой и электропроводящие покрытия электризуемых стенок из диэлектрических материалов	Рекомендуется при слабой электризации. При сильной электризации удваивает зажигающую способность скользящих искровых разрядов и в 2 раза снижает порог электростатической нагрузки, при которой разряды возникают
Система TN - C	Не допускается в помещениях медицинского назначения

Таблица 11

Объект	Сопротивление средств защиты	
	нижние значения	верхние значения
Электропроводящий пол	-	$10^7$ Ом (для участка площадью $0,05 \text{ м}^2$ )
	-	$10^6$ Ом (в зонах, где возможно загорание веществ или объектов с $W_{\text{мин}} \leq 0,1$ МДж и для участка площадью $0,05 \text{ м}^2$ )
Электропроводящие участки антиэлектростатической одежды [29]	$10^6$ Ом	$10^8$ Ом
Антиэлектростатическая обувь	Подпятник – ходовая сторона подошвы [29]	
	$10^6$ Ом	$10^8$ Ом
Обувь с кожаной подошвой	$10^7$ Ом	$10^8$ Ом
Антиэлектростатические кольца и браслеты	Человек – земля	
	$10^6$ Ом	$10^7$ Ом
Сопротивление между точками электропроводящей системы, объединённой перемычками [30]	Не нормируется	0,2 Ом

Таблица 12

Средство	Требуемая эффективность
Антиэлектростатические вещества (добавки) [29]	Должны снижать удельное сопротивление материалов до значений $\rho_v \leq 10^7$ Ом·м и $\rho_s \leq 10^9$ Ом
Антиэлектростатическая специальная одежда [29]	$\rho_s \leq 10^7$ Ом (требование к удельному сопротивлению материалов)

Таблица 13

Свойство	Исходные данные для классификации	Критерий
Антистатическое футерованное оборудование	$\rho_v$	$\rho_v \leq 10^8$ Ом·м
Электростатически заземлённое оборудование	$R_3$	$R_3 \leq 10^7$ Ом Примечание. Для площади участка покрытия $S \leq 20 \text{ см}^2$
Электростатически заземлённое оборудование	$\rho_v$ $\lambda$	$\rho_v \leq 2 \cdot 10^4 / \lambda$ Ом·м
Электростатически безыскровое футерованное оборудование	$\rho_v$ $j$ $\lambda$	$\rho_v \leq 300 / (j \lambda)$ Ом·м Примечание. Общее условие при эксплуатации оборудования в среде воздуха
Электростатически безыскровое футерованное оборудование	$\rho_v$ $\lambda$	$\rho_v \leq 3 \cdot 10^6 / \lambda$ Ом·м Примечание. Условие для смесей горючего с воздухом

Электростатически слабо- электризующееся футерованное оборудование	$n$ Пр и м е ч а н и е . $n$ - электростатическая нагрузка, безразмерна	$n \leq n_{пр}$ Пр и м е ч а н и е . Общее условие
Электростатически слабо- электризующееся футерованное оборудование	$V$	$V \leq 0,4 V_{пр}$
Электростатически слабо- электризующееся футерованное оборудование	$\rho_v$ $j$ $\lambda$	$\rho_v \leq 0,4 V_{пр} / (j \lambda)$ Пр и м е ч а н и е . Комплексное условие
Электростатически слабо- электризующееся футерованное оборудование	$\rho_v$	$\rho_v \leq 2 \cdot 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ Пр и м е ч а н и е . Условие соответствия электростатическим свойствам воздуха
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси $V_s$	$V_s \leq (V_d - V_{ж})$
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси $\rho_v$	$\rho_v \leq V_d / (j \lambda)$ Пр и м е ч а н и е . Комплексное условие
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси и $V$ $пр$	$V_{пр} \leq (V_d - V_{ж})$
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси II A и $V$	$V \leq 17,5 \text{ кВ}$ Пр и м е ч а н и е . Данное значение не должно превышать максимальный потенциал жидкости, находящейся в ёмкости
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси II A, $V$ и $\lambda$	$\rho_v \leq 1,7 \cdot 10^8 / \lambda \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси II B и $V$	$V \leq 14,2 \text{ кВ}$ Пр и м е ч а н и е . Данное значение не должно превышать максимальный потенциал жидкости, находящейся в емкости
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	Категория взрывоопасной смеси II B , $V$ и $\lambda$	$\rho_v \leq 1,4 \cdot 10^8 / \lambda \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Электростатически искробезопасное слабо-электризующееся футерованное оборудование	$W_{мин}$ и $\rho_v$	$\rho_v \leq \rho_{вд} F ( W_{мин} ) \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Обозначения:  $j$  - плотность тока,  $\text{А/м}^2$ ;  $n$  - электростатическая нагрузка, безразмерна;  $n_{пр}$  - электростатическая нагрузка, соответствующая электростатической прочности;  $R_3$  - электрическое сопротивление "поверхность - основание" участка слоя покрытия заданной площади.  $V$  - потенциал, В;  $V_{пр}$  - потенциал, соответствующий электростатической прочности;  $V_d$  - потенциал, допустимое значение;  $V_{ж}$  - максимальный потенциал жидкости в металлической заземлённой ёмкости без покрытия, В;  $V_s$  - потенциал, обусловленный поверхностной плотностью электрических зарядов покрытия, В;  $W_{мин}$  - минимальная энергия зажигания взрывоопасной смеси;  $\rho_v$  - удельное объёмное электрическое сопротивление материала слоя покрытия,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;  $\rho_{вд}$  - удельное объёмное электрическое сопротивление материала слоя покрытия, допустимое значение,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;  $\lambda$  - толщина слоя покрытия, м.

Таблица 12

Параметр разрядов и объектов защиты	Нормируемое значение
Напряженность электростатического поля	При 20 кВ/м и более регламентируется время пребывания на рабочем месте
Электрический ток	60 мкА - порог биологического воздействия
Потенциал электростатически заряженного тела человека	2 кВ - потенциал, допустимый по раздражающему воздействию разрядов. При потенциале более 2 кВ возможны произвольные движения при разрядах с человека. По требованиям ЭСИБ допустимый потенциал

	может быть менее 2кВ
Заряд в импульсе при разрядах статического электричества, когда одним из полюсов разрядного промежутка является тело человека	0,1 мкКл - заряд, допустимый по раздражающему воздействию разрядов. При заряде в импульсе более 0,1 мкКл возможны произвольные движения. По требованиям ЭСИБ допустимый заряд в импульсе разрядного тока может быть менее 0,1 мкКл
Ток, применяемый в системах контроля заземления человека [30]	10 мкА
Напряжение, применяемое в системах контроля заземления человека [30]	10 мВ
Ёмкость человека (измеренные значения)	От 40 до 8000 пФ
Сопротивление тела человека, принимаемое в нормировании [30]	1 кОм

Таблица 13

Производственная операция	Значение заряда в импульсном разряде статического электричества, мкКл		
	Наиболее вероятное	Максимальное измеренное	При вероятности $10^{-6}$
Полирование на ленточном полировальном станке	0,530	1,50	2,5
Первая шлифовка на станке ШЛПС	0,008	0,08	0,1
Вторая шлифовка на станке ШЛПС	0,150	0,40	2,1

Таблица 14

Материал поверхности	Значение заряда в импульсном разряде статического электричества, мкКл		
	Наиболее вероятное	Максимальное измеренное	При вероятности $10^{-6}$
Органическое стекло	0,0760	0,250	0,91
Полиэтилен	0,0140	0,058	0,26
Оконное стекло	0,0023	0,011	0,50
Техническое стекло 13В (труба)	0,011	0,038	0,52
Стекло "Сиал" (труба)	0,012	0,046	0,12

Таблица 15

Операция	Сопротивление изоляции от земли, Ом	Время RC цепи "человек-земля", с	Напряжение полюсов "человек-земля", В	Заряд тела, мкКл	Энергия перед разрядом, мДж
Притирка	$10^5$	$4 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-4}$	0,06	Разряды возможны на человека	
	$10^7$	$4 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-4}$	6		
	$10^{10}$	0,4 - 80	6000	Разряды с человека	0,24 - 48   0,72 - 144
Действие СО <sub>2</sub> -огнетушителя	$10^5$	$4 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-4}$	10	Разряды возможны на человека	
	$10^7$	$4 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-4}$	1000	Разряды с человека	0,04-8,0   0,02-4,0
	$10^{10}$	0,4 - 80	$10^6$	Расчетный предел не достигается, и значения ограничены коронированием, разрядами, пробоем электроизолирующих средств защиты	

Примечание . При выборе средств защиты, удовлетворяющих санитарным нормам и требованиям ЭСИБ, следует руководствоваться наиболее жесткими параметрами

## Лекция 5,6,7. Защитные меры в электроустановках

### Конструктивно-технологические меры.

Недоступность токоведущих частей электроустановки для случайного прикосновения.

Может быть обеспечена изоляцией, размещением на достаточной высоте, ограждением.

Надежность и безопасность работы электрооборудования зависит, прежде всего, от состояния изоляции токоведущих частей. Повреждение ее является основной причиной многих несчастных случаев.

Во многих элементах электроустановок (например, кабельные вводы, распределительные устройства, провода воздушных линий и т.д.) средой, изолирующей человека от токоведущих частей, является воздух. В подобных случаях безопасность обеспечивается организационными мероприятиями, жестко регламентирующими приближение человека на опасные для него расстояния к токоведущим частям, а также применением сплошных или сетчатых ограждений.

Для изоляции токоведущих частей (машин, аппаратов, приборов, проводов, кабелей) применяются различные изоляционные материалы и изделия, отличающиеся диэлектрическими и особыми физико-механическими свойствами (резина, пластмассы, бумага, фарфор, стекло, асбест, эбонит, стеклоткань, смолы, лаки, краски).

#### **Контроль и профилактика повреждений изоляции.**

Контроль изоляции – это измерение её активного или омического сопротивления с целью обнаружить дефекты и предупредить замыкания на землю и короткие замыкания.

В сети напряжением до 1000 В сопротивление изоляции каждого участка должно быть не менее 0,5 мОм на фазу.

Существует два вида контроля: периодический и постоянный. Постоянный контроль – это наблюдение за сопротивлением изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановки без автоматического отключения.

Периодический контроль состояния изоляции электроустановок напряжением до 1000 В производится не реже одного раза в три года.

Состояние изоляции проверяется также перед вводом электроустановок в эксплуатацию и после длительного пребывания в нерабочем положении.

Измерение сопротивления изоляции производят при помощи омметра или мегаомметра. Схема периодического контроля омметром приведена на рис.22.

Непрерывный контроль сопротивления изоляции в сети с изолированной нейтралью в простейшем случае можно осуществлять с помощью трех вольтметров (рис.23). Показание вольтметра при поврежденной фазе будет ниже показаний двух других вольтметров.

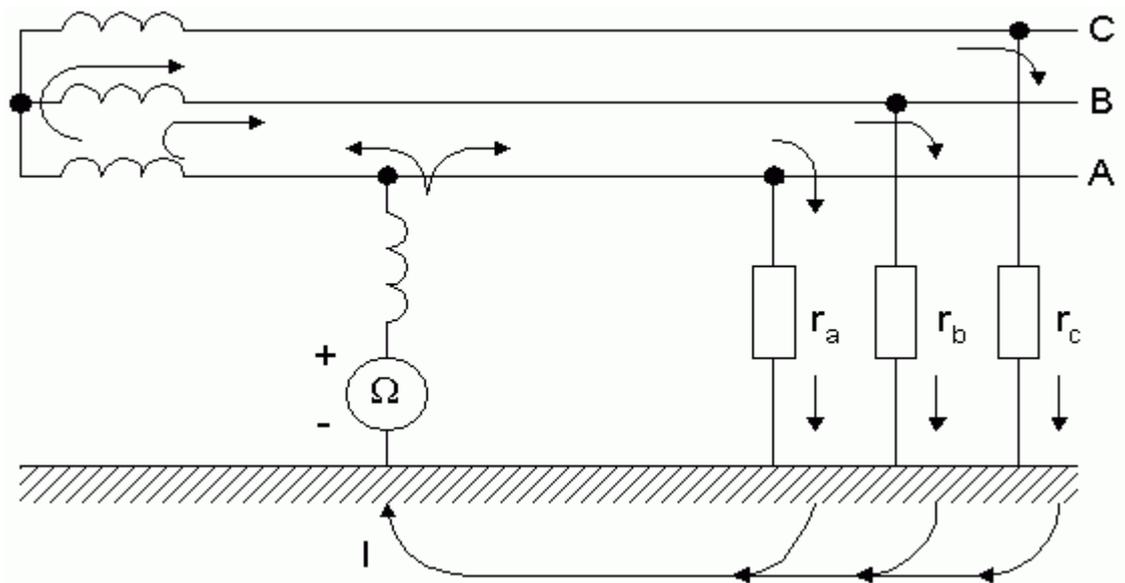


Рис. 22. Схема периодического контроля изоляции омметром:

A, B, C – фазы,  $r_a$ ,  $r_b$ ,  $r_c$  – сопротивление изоляции.

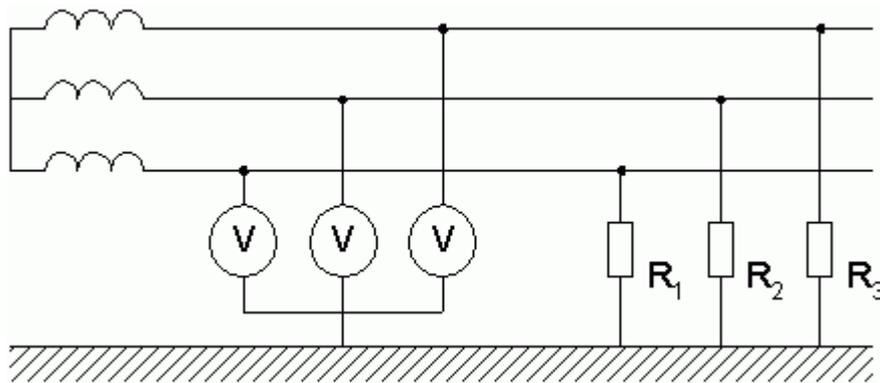


Рис. 23. Схема включения вольтметров для постоянного контроля сопротивления изоляции трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Испытание изоляции повышенным напряжением производят при капитальном и текущем ремонтах электрооборудования, а также в случаях, когда во время работы обнаружен дефект.

Изоляцию электроустановок испытывают напряжением промышленной частоты, как, правило, в течение 1 мин. Дальнейшее воздействие может испортить изоляцию.

Назначение временных ограждений – предохранить персонал, производящий работы в электроустановке, от опасного случайного приближения и прикосновения к находящимся под напряжением токоведущим частям, расположенным вблизи места работ. Они предназначены также для закрытия проходов в те помещения, куда вход работающему персоналу запрещен, и для воспрепятствования включению аппаратов.

Ограждениями могут служить специальные сплошные или решетчатые деревянные щиты, ширмы, решетки и т.п.; резиновые или пластмассовые колпаки, надеваемые на ножи однополюсных разъединителей с целью предотвращения ошибочного включения их;

изолирующие накладки – пластины из резины, текстолита и им подобных материалов, применяемые для покрытия ножей отключенного рубильника или разъединителя и препятствующие ошибочному включению его.

Ограждения в виде щитов, ширм и т.п. применяются в установках любого напряжения. Их устанавливают так, чтобы расстояние от них до токоведущих частей было не меньше определенных значений: например, в установках напряжением до 15 кВ включительно минимальное расстояние должно быть 0,35 м, а в установках 500 кВ – 4,5 м.

Высота щита должна быть не менее 1,7 м. Нижняя кромка щита должна отстоять от пола не более чем на 10 см. на каждом щите укрепляется предупреждающий плакат “Стой! Опасно для жизни – под напряжением” или делается иная соответствующая надпись. Щиты нужно устанавливать надежно; они не должны препятствовать выходу из того помещения, где производятся работы.

Для ограждения близко расположенных частей, находящихся под напряжением, применяют только сплошные щиты или шкафы.

Для ограждения рабочего места от расположенных вблизи и находящихся под напряжением частей должны применяться сплошные щиты. Решетчатые щиты можно применять только для загораживания входа в ячейки, камеры и проходы.

Соприкосновение щитов с токоведущими частями, находящимися под напряжением, не допускается.

Токоведущие части размещают на недоступной высоте в тех случаях, когда изоляция и ограждение их оказываются невозможными или нецелесообразными. Например, провода воздушных электрических линий, прокладываемых вне зданий, невозможно оградить; нецелесообразно их изолировать, так как изоляция быстро разрушается под действием атмосферы. Поэтому, для воздушных линий применяются, как правило, голые провода, которые подвешиваются над землей на такой высоте, чтобы исключить возможность прикосновения к ним прохожих и транспорта. Минимальной высотой считается 6 м – для линий с напряжением до 1000 В, 7 м – для линий с напряжением до 110 кВ, 7,5 м – для линий с напряжением 150 кВ, 8 м – для линий более высокого напряжения.

#### **Электрическое разделение сети.**

Под защитным разделением сетей понимается деление электрической сети большой протяженности на короткие участки. Установлено: если единую, сильно разветвленную электрическую сеть, которая имеет большую емкость и малое сопротивление изоляции, разделить на ряд небольших сетей такого же напряжения, то такая сеть будет обладать незначительной емкостью и высоким сопротивлением изоляции. При этом опасность поражения током резко снижается.

### **Использование малого напряжения.**

Малыми считаются напряжения до 42 В. при таком напряжении ток, проходящий через тело человека, не превышает  $1 \div 1,5$  мА, а это не опасно для человека. Область применения малых напряжений сравнительно невелика, так как уменьшение эксплуатационного напряжения связано с увеличением тока, сечений проводов и токоведущих частей электрических машин и аппаратов. Применение малых напряжений (2,5 В) ограничивается шахтерскими лампами, различными электроинструментами, светильниками и некоторыми бытовыми приборами (игрушки, карманные фонари, электробритвы и т.п.)

Источником малого напряжения может быть батарея гальванических элементов, аккумулятор, выпрямительная установка, преобразователь частот и трансформатор.

Наиболее часто в качестве источника малого напряжения применяются понижающие трансформаторы, так как они отличаются простотой конструкции и большой надежностью.

Во всех случаях электропитания через понижающие трансформаторы с вторичным напряжением  $12 \div 42$  В необходимо обеспечить невозможность перехода напряжения тока из первичной обмотки (высшего напряжения) во вторичную обмотку (низшего напряжения), питающую электроприемники. Для этого корпус трансформатора должен быть заземлен и удален от электроприемников на расстояние не менее 5 м. Для большей безопасности рекомендуется на вторичной стороне трансформатора применять хорошо изолированные провода, а для переносных электроприемников – изолирующие шланговые провода, при работах в металлических резервуарах и на токопроводящих конструкциях трансформаторы следует устанавливать вне емкостей или конструкций, а их корпуса соединять с этими объектами, чтобы выровнять потенциалы на корпус трансформатора и на конструкции.

### **Двойная изоляция.**

Этот термин означает применение кроме основной изоляции токоведущих частей, называемой рабочей, еще одного слоя изоляции, называемой дополнительной, которая изолирует человека от металлических нетоковедущих частей, могущих случайно оказаться под напряжением.

Наиболее совершенный способ изготовления электрооборудования с двойной изоляцией – изготовление корпуса электроприбора из изолирующего материала.

### **Специальные меры. Защитное заземление.**

К специальным защитным мерам относятся:

- защитное заземление
- защитное зануление
- защитное отключение

- сигнализация и блокировка.

Защитное заземление выполняется с целью обеспечения безопасности людей при нарушении изоляции токоведущих частей. Применяется также заземление для защиты от действия атмосферного электричества электрооборудования, зданий и сооружений.

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение с землей или ее эквивалентом металлических частей оборудования, в обычных условиях находящихся не под напряжением, но могущих оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции электроустановок.

Действие защитного заземления заключается в том, что оно снижает напряжение между корпусом оборудования, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Поясим это на примере сети с изолированной нейтралью (рис. 24). Если корпус электрооборудования не заземлен и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно однофазному включению. Если же корпус заземлен, то потенциал корпуса относительно земли падает до безопасно малого значения.

Заземлять необходимо металлические части электроустановок, корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников, приводы электрических аппаратов, вторичные обмотки измерительных трансформаторов, каркасы распределительных щитов, щитов управления, шкафов и др.

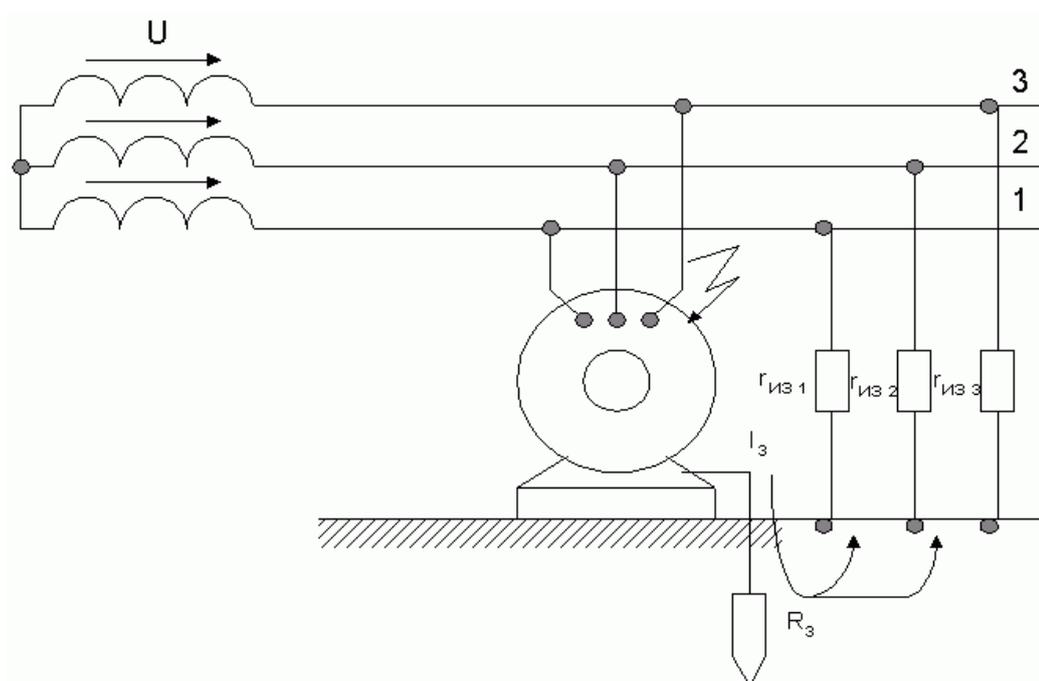


Рис. 24. Схема соединения электроустановки с заземлителем:

1, 2, 3 – фазы,  $R_3$  – сопротивление заземлителя,  $r_{из1}$ ,  $r_{из2}$ ,  $r_{из3}$  – сопротивления изоляции проводов.

Защитное заземление применяется в трехфазных трехпроводных сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, а в сетях напряжением 1000 В и выше – с любым режимом нейтрали (рис. 25).

**Заземляющее устройство** – это совокупность заземлителя и заземляющих проводов, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Различают естественные и искусственные заземлители.

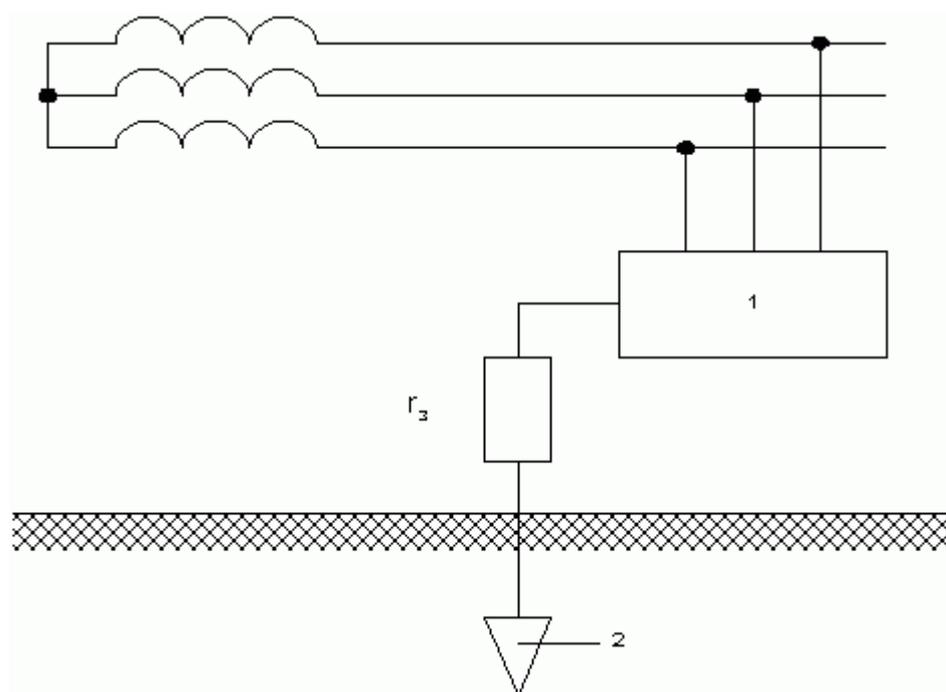
В качестве искусственных заземлителей используют стальные, вертикально заложенные в землю трубы диаметром от 3 до 5 см, с толщиной стенок не менее 3,5 мм, длиной 2,5 – 3м; угловая сталь, металлические стержни диаметром 10 – 12 мм и длиной 10 м и более.

Для искусственных заземлителей в агрессивных почвах (щелочных, кислых и др.), где они подвергаются усиленной коррозии, применяются медь, омедненный или оцинкованный металл.

В качестве искусственных заземлителей нельзя применять алюминиевые оболочки кабелей, а также голые алюминиевые проводники, так как в почве они окисляются, а окись алюминия – изолятор.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы проложенные в земле водопроводные, канализационные и другие металлические трубопроводы; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций, имеющие соединение с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

а)



б)

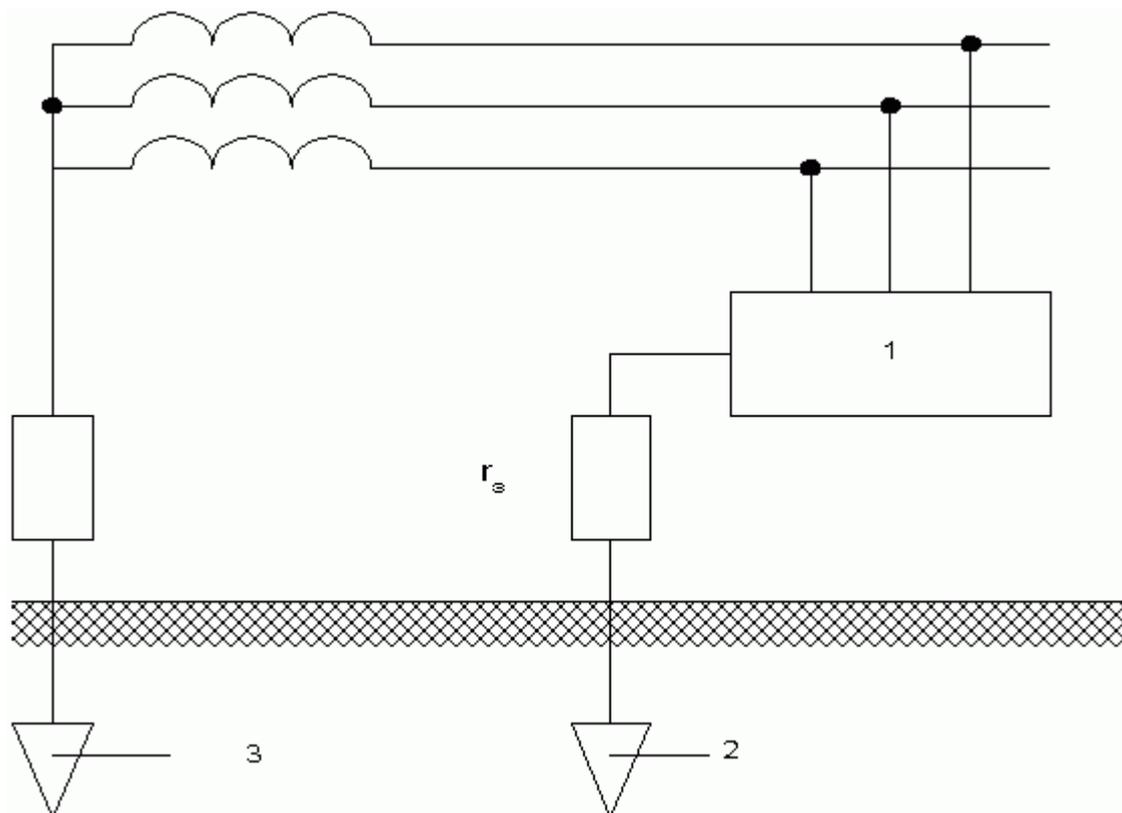


Рис. 25. Принципиальные схемы защитного заземления:

а) в сети с изолированной нейтралью до 1000 В, б) в сети с заземленной нейтралью 1000 В и выше: 1 – заземленное оборудование, 2 – заземлитель защитного заземления, 3 – заземлитель рабочего заземления,  $r_з$  – сопротивление защитного заземления,  $r_0$  – сопротивление рабочего заземления.

Категорически запрещается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей и газов.

Каждый отдельный проводник, находящийся в контакте с землей, называется одиночным заземлителем, или электродом. Если заземлитель состоит из нескольких электродов, соединенных между собой параллельно, он называется групповым заземлителем.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7 – 0,8 м, после чего забивают трубы или уголки с помощью механизмов. Стальные стержни диаметром 10 – 12 мм, заглубляют в землю с помощью специального приспособления, а более длинные с помощью вибратора. Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой методом сварки.

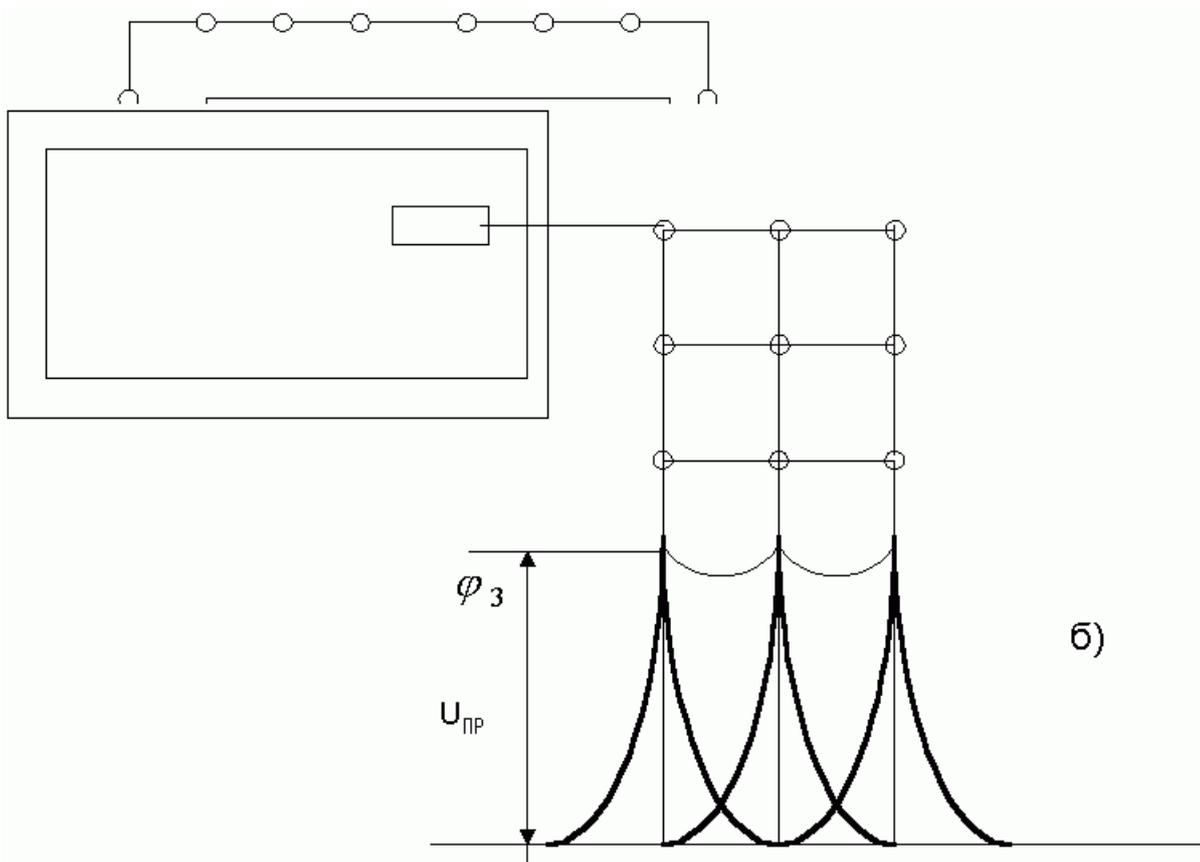
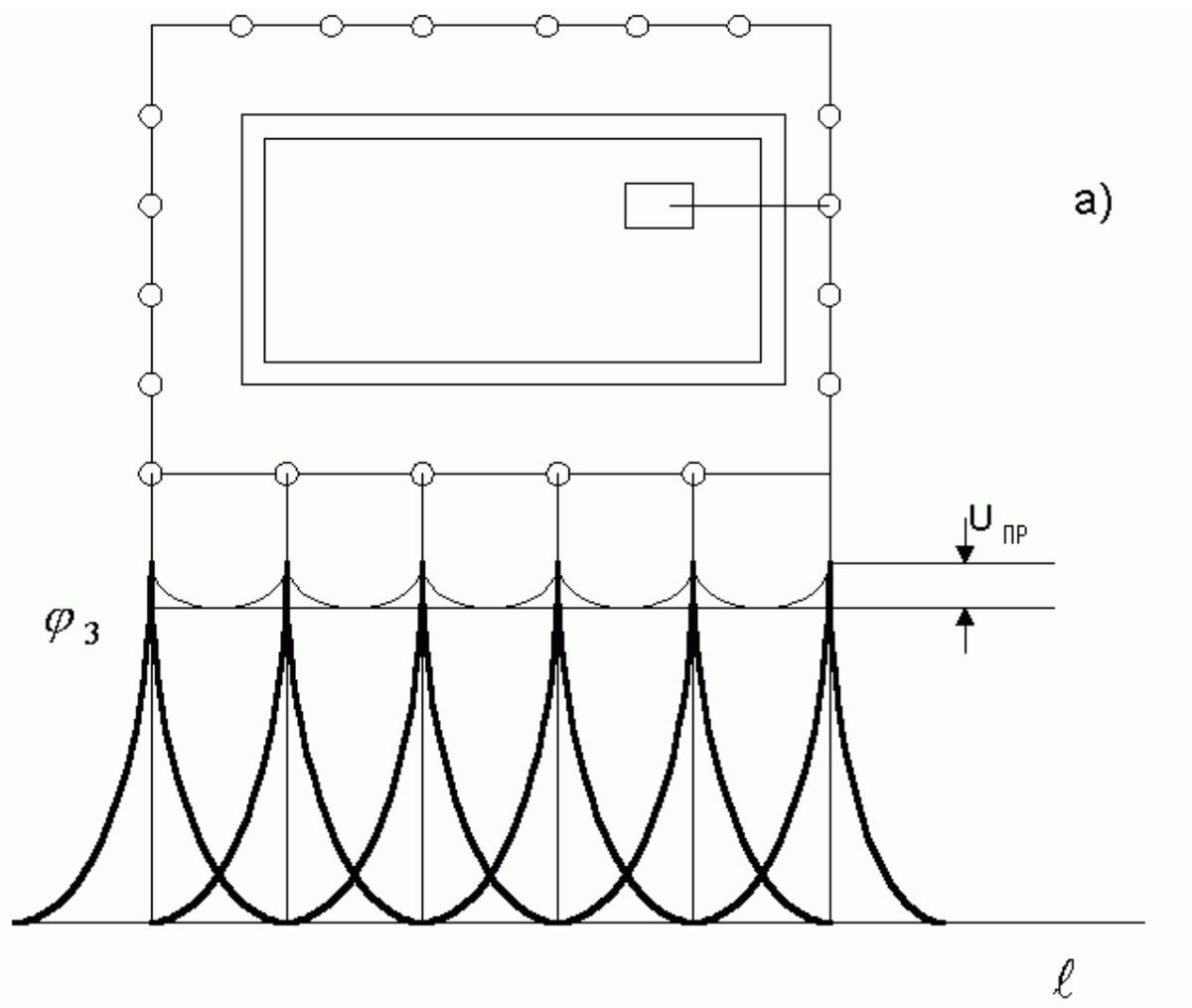


Рис. 26. Заземляющее устройство

а) контурное

б) выносное

Устройство защитного заземления может быть осуществлено двумя способами: контурным расположением заземляющих проводников и выносным (рис 26).

При контурном размещении заземлителей обеспечивается выравнивание потенциалов при однофазном замыкании на землю, Кроме того, благодаря взаимному влиянию заземлителей уменьшается напряжение прикосновения и напряжение шага в защищаемой зоне. Выносные заземления этими свойствами не обладают. Зато при выносном способе размещения есть выбор места для заглубления заземлителей.

Взаимное влияние труб заземлителей называют экранированием.

В помещениях заземляющие проводники следует располагать таким образом, чтобы они были доступны для осмотра и надежно защищены от механических повреждений. На полу помещений заземляющие проводники укладывают в специальные канавки. В помещениях, где возможно выделение едких паров и газов, а также в помещениях с повышенной влажностью заземляющие проводники прокладывают вдоль стен на скобах в 10 мм от стены.

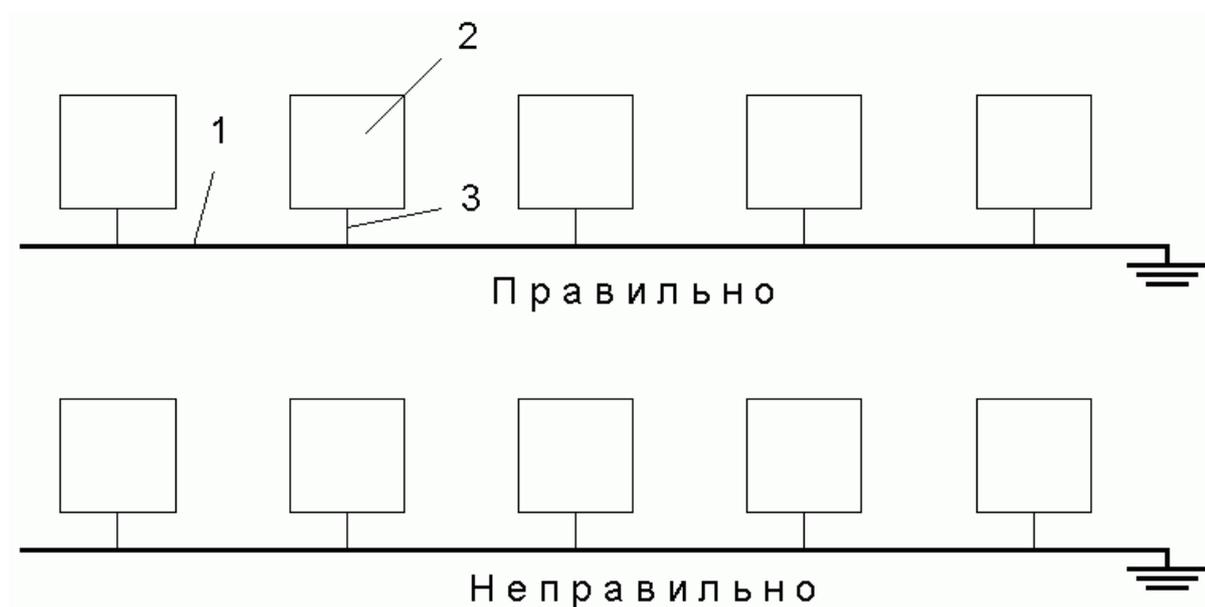


Рис. 27. Схемы присоединения заземляемых объектов к заземляющей магистрали:

1 – заземляющая магистраль, 2 – заземляемое оборудование, 3 – проводник-ответвление к заземляющей магистрали

Каждый корпус электроустановки должен быть присоединен к заземлителю или к заземляющей магистрали с помощью отдельного ответвления. Последовательное включение нескольких заземляемых корпусов электроустановок в заземляющий проводник запрещается (рис. 27).

Сечение заземляющих проводников должно быть: при голых медных проводниках и открытой прокладке –  $4 \text{ мм}^2$ , при алюминиевых –  $6 \text{ мм}^2$ ;

при изолированных медных проводах –  $1,5 \text{ мм}^2$ , при алюминиевых –  $2,5 \text{ мм}^2$ ;

при заземляющих жилах кабелей в защитной оболочке, общей с фазными жилами:  $1 \text{ мм}^2$  – для медных и  $1,5 \text{ мм}^2$  – для алюминиевых.

Сопротивление заземляющего устройства представляет собой сумму сопротивлений заземлителя относительно земли и заземляющих проводников.

Сопротивление заземлителя относительно земли есть отношение напряжения на заземлителе к току, проходящему через заземлитель в землю.

Величина сопротивления заземлителя зависит от удельного сопротивления грунта, в котором заземлитель находится; типа размеров и расположения элементов, из которых заземлитель выполнен; количества и взаимного расположения электродов.

Величина сопротивления заземлителей может изменяться в несколько раз в зависимости от времени года. Наибольшее сопротивление заземлители имеют зимой при промерзании грунта и в засушливое время.

Наибольшее допустимое значение сопротивления заземления в установках до 1000 В:

10 Ом – при суммарной мощности генераторов и трансформаторов 100 кВА и менее 4 Ом – во всех остальных случаях.

Указанные нормы обосновываются допустимой величиной напряжения прикосновения, которая в сетях до 1000 В не должна превышать 40 В.

В установках свыше 1000 В допускается сопротивление заземления

$$r_3 \leq \frac{125}{I_3} \text{ Ом}$$

, но не более 4 Ом или 10 Ом.

В установках свыше 1000 В с большими токами замыкания на землю ( $I_3 > 500 \text{ В}$ ) сопротивление заземляющего устройства не должно быть более 0,5 Ом для обеспечения автоматического отключения участка сети в случае аварии.

**Защитное зануление.**

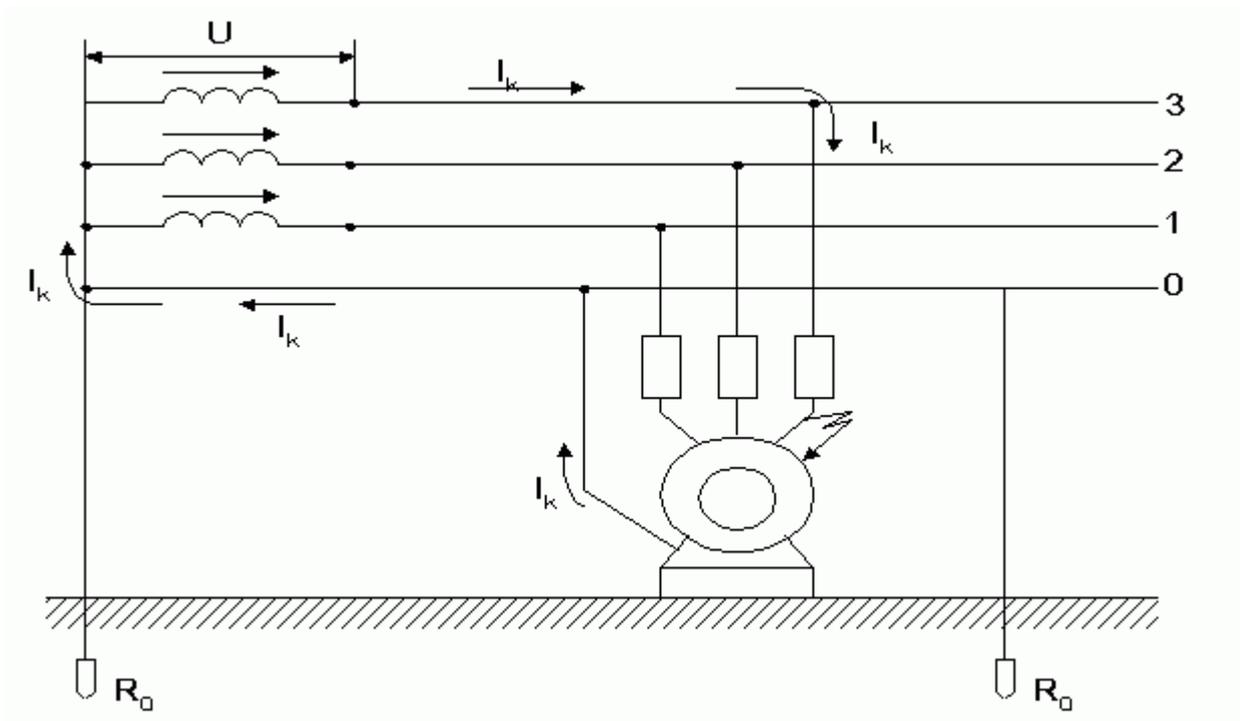


Рис. 28. Схема зануления электрического двигателя:

$U$  – фазное напряжение,  $I_k$  – ток короткого зануления, 1, 2, 3 – фазы, 0 – нулевой провод,  $R_0$  – сопротивление нейтральной точки.

**Защитное зануление** – это присоединение металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением, к глухозаземленной нейтральной точке источника (рис.28).

Назначение защитного зануления такое же, как и защитного заземления: устранить опасность поражения людей током при пробое на корпус. Решается эта задача автоматическим отключением поврежденной установки от электрической сети.

Принцип действия зануления – превращение пробоя на корпус в однофазное короткое замыкание с целью вызвать ток большой силы, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети. Такой защитой служат:

плавкие предохранители или максимальные автоматы, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания;

магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой;

контакты с тепловыми реле и другие приборы.

При пробое фазы на корпус ток идет по пути: корпус – нулевой провод – обмотки трансформатора – фазный провод – предохранители; ввиду того, что сопротивление при коротком замыкании мало, сила тока достигает больших величин и предохранители срабатывают.

Защитное зануление применяется в трехфазных четырехпроводных электрических сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью. Такие сети обычно напряжением 380/220 и 220/127 В широко применяются в машиностроительной промышленности.

Назначение нулевого провода в электрической сети – обеспечить необходимую для отключения электроустановки величину тока короткого замыкания путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

$I_{кз} \geq 3I_n$  – для защиты плавкими предохранителями.  $I_n$  – номинальный ток установки.

Заземление нейтрали в трехфазной четырехпроводной сети делается для того, чтобы снизить до безопасного значения напряжение нулевого провода относительно земли при случайном замыкании фазы на землю.

Без заземления нейтрали такая сеть опасна и применяться не должна.

Повторное заземление делается с целью уменьшить опасность поражения человека током при обрыве нулевого провода и одновременном пробое фазы на корпус за местом обрыва. В этом случае при отсутствии повторного заземления напряжение на корпусе равно фазному. Если же нулевой провод имеет повторное заземление, то при его обрыве до места замыкания фазы на корпус напряжение на нем значительно снижается.

Нулевой провод должен быть проложен так, чтобы исключить возможность обрыва; в нулевом проводе запрещается ставить предохранители, выключатели и другие приборы, способные нарушить его целостность. Проводимость нулевого провода должна составлять не менее 50% проводимости фазного провода.

Контроль зануления электрооборудования производится при его приемке в эксплуатацию, а также периодически в процессе эксплуатации. Один раз в пять лет должно производиться измерение полного сопротивления петли “фаза - нуль” для наиболее удаленных, а также наиболее мощных электроприемников, но не менее 10% их общего количества.

Внеплановые измерения обязательно производятся при капитальных ремонтах и реконструкции сети.

#### **Защитное отключение.**

Защитным отключением называют средства защиты, обеспечивающие автоматическое отключение аварийной установки в случае замыкания одной из фаз на корпус и возникновения опасности поражения человека током. Время срабатывания защитного отключения не более 0,2 сек.

Защитное отключение является частным случаем защитного зануления. В отличие от зануления, защитное отключение может применяться в любых сетях независимо от

принятого режима нейтрали, величины напряжения и наличия в них нулевого провода. Защитное отключение может применяться в условиях повышенной опасности в дополнение к защитному заземлению, а также вместо заземления корпусов электрооборудования, когда его выполнить трудно, например, в передвижных электроустановках, установленных на скальных грунтах или удаленных от системы заземления или зануления приемника тока.

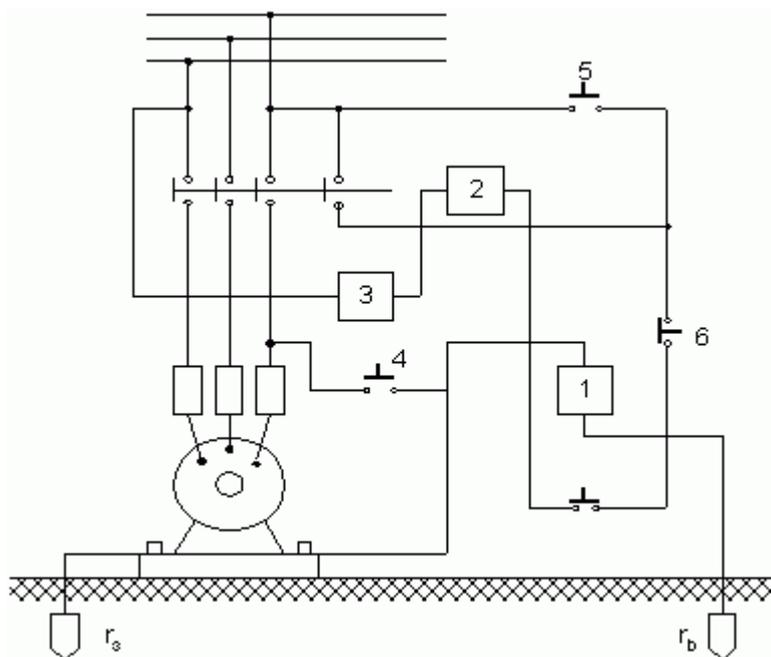
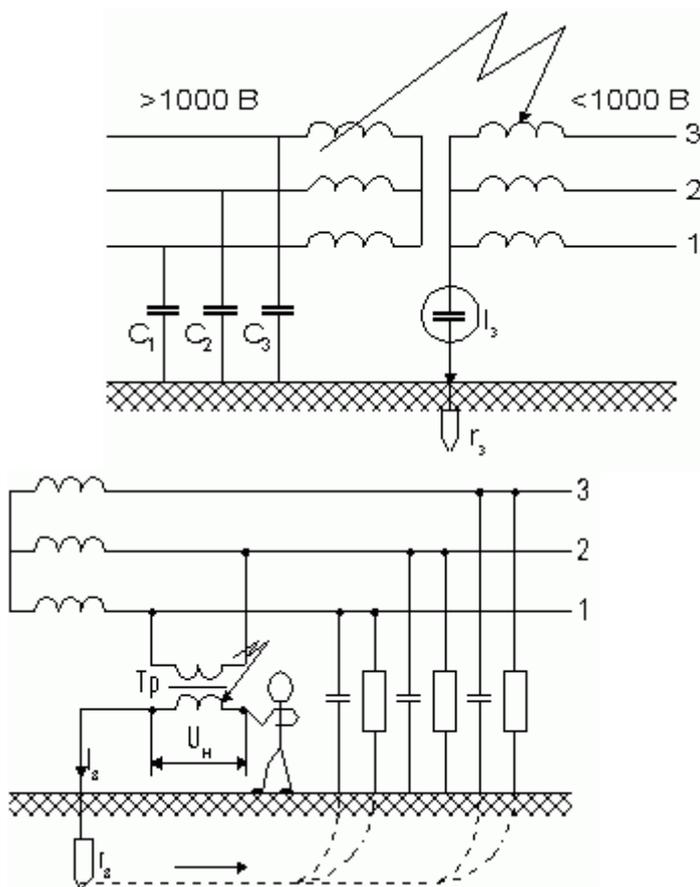


Рис. 29. Принципиальная схема защитного отключения.

Защитное отключение осуществляется при помощи автоматических выключателей, снабженных специальным реле защитного отключения. Принципиальная схема защитного отключения изображена на рис.29. Основным элементом схемы является защитное реле *1* с постоянно замкнутыми контактами. При замыкании на корпус одной из фаз, когда корпус электроустановки окажется под напряжением выше допустимого, сердечник реле *1* втягивается и размыкает цепь питания катушки контактора *2*, в результате чего электроустановка отключается. Защитное реле *1* срабатывает при заданном напряжении на корпусе электроустановки порядка 24÷ 40 В. для контроля исправного действия защитного реле, контактора и всех соединений предусмотрена контрольная кнопка *4*.

Переход высшего напряжения в сеть низшего возможен при пробое высоковольтной обмотки силовых и измерительных трансформаторов на низковольтную. Такой переход напряжения опасен как в пожарном отношении, так и для обслуживающего персонала. Наибольшей опасности такого рода подвергаются трансформаторы переносных электроинструментов, переносных электроламп и аппаратов электрической сварки.



а) б)

Рис. 30. Защита от перехода высшего напряжения в сеть низшего:

а) схема включения пробивного предохранителя; б) переход высшего напряжения при заземленной вторичной обмотке трансформатора.

Защита сети трехфазного тока с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В от возможного перехода высшего напряжения осуществляется при помощи пробивного предохранителя, который состоит из двух металлических дисков, изолированных один от другого слюдяной прокладкой. В нормальных условиях воздушный зазор между дисками изолирует от земли нейтраль низковольтной обмотки. При пробое высоковольтной обмотки на низковольтную происходит пробой воздушного зазора в слюдяной прокладке предохранителя, и цепь аварийного тока замыкается через сопротивление рабочего заземлителя сети низшего напряжения и емкость сети высшего напряжения (рис.30а). При пробое предохранителя срабатывают средства защиты, и поврежденный трансформатор немедленно отключается.

В трансформаторах с высшим напряжением ниже 1000 В и низшим напряжением ниже 100 В пробивные предохранители не применяются, так как при таком напряжении они недостаточно надежны. В трансформаторах с напряжением низковольтной обмотки ниже 100 В, например, в измерительных трансформаторах тока и напряжения, взамен пробивного

предохранителя к сети заземления присоединяется один из зажимов вторичной обмотки (рис.30б).

В случае пробоя изоляции и перехода высшего напряжения в сеть низшего напряжение прикосновения к проводу вторичной обмотки становится для обслуживающего персонала меньше опасной величины.

В сетях с глухозаземленной нейтралью один из зажимов вторичной обмотки трансформатора присоединяется к заземленному нулевому проводу (Рис.31а). В случае пробоя изоляции между обмотками трансформатора ток короткого замыкания вызывает срабатывание средств защиты и отключение трансформатора.

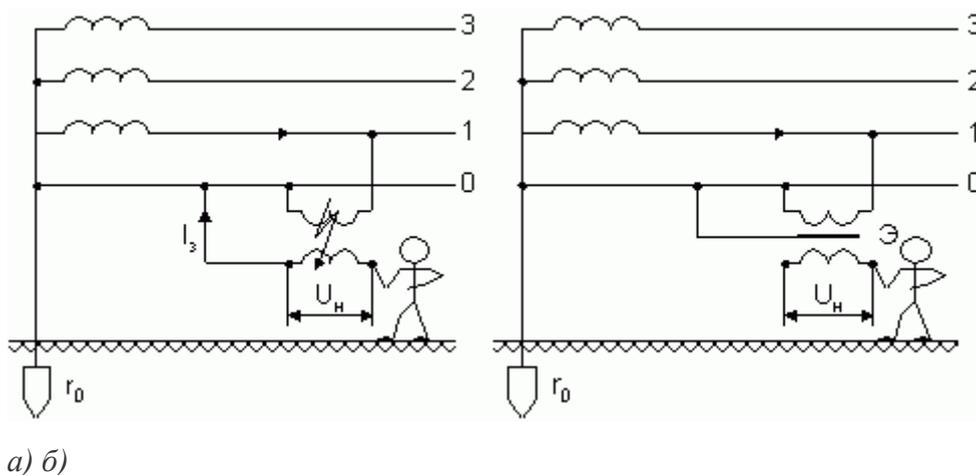


Рис. 31. Схемы защиты трансформаторов напряжением ниже 1000 В: а) зануление вторичной обмотки; б) зануление экранной обмотки.

Для защиты от перехода высшего напряжения в сеть низшего в трансформаторах применяют также дополнительную экранную обмотку, не имеющей изоляции между витками, которая помещается между обмотками разных напряжений. Вторичная обмотка остается изолированной. Экранная обмотка в сети с изолированной нейтралью заземляется, а в сети с глухозаземленной нейтралью зануляется (рис.31б).

При контакте вторичной и экранной обмоток эта мера защиты теряет свои преимущества.

Как показывает практика, в трансформаторах с низким напряжением ниже 100 В рассмотренные меры защиты при переходе высшего напряжения в сеть низшего не гарантируют полной безопасности обслуживающего персонала, поэтому качество изоляции переносного электрифицированного инструмента и переносных электрических ламп напряжением 12 и 36 В имеет большое значение.

### **Сигнализация и блокировки.**

Анализ электротравматизма показывает, что большинство несчастных случаев с персоналом, обслуживающим электроустановки, происходит в результате потери ими

ориентировки при осмотрах, ремонтах и испытании. Блокировка, сигнализация и маркировка различных частей электроустановок, кабелей и проводов предупреждают неправильные действия работников.

Блокировочные устройства являются наиболее надежным средством защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Они препятствуют доступу работающих к токоведущим частям электроустановок, находящимся под напряжением.

В электроустановках и радиоустройствах широко применяются электрическая и механическая блокировки. Так, по действующим правилам техники безопасности все радиопередатчики должны иметь две блокировки: электрическую и механическую.

Электрическая блокировка воздействует только на контакты электрической цепи. Она может применяться при любых расстояниях от защищаемого объекта. Принцип действия электрической блокировки состоит в том, что открытие дверей шкафов или ограждения электроустановки или кожухов электрооборудования сопровождается разрывом электрической цепи и автоматическим отключением электроустановки или другого электрооборудования от источника тока. В другом случае блокировка делает возможным открыть двери шкафа или ограждения электроустановки или снять кожух электрооборудования только после предварительного отключения источника тока.

Недостатком электрической блокировки является ее зависимость от исправности электрической цепи, например, из-за возможного пригорания контактов нельзя открыть двери ограждения передатчика или двери лифта, что может привести к несчастному случаю.

Механическая блокировка применяется трех систем: жезловая, рычажная. Действие механической блокировки заключается в том, что открыть двери шкафов или ограждений возможно только при предварительном выключении рубильника, т.е. подачи электропитания на установку, и, наоборот, включить рубильник можно только при закрытых дверях или надетых на электроустановки кожухах.

При жезловой системе все двери шкафов или ограждений имеют специальные замки, которые открываются одним ключом. Конструкция замка такова, что повернуть ключ и вынуть его из замка можно только, выключив предварительно рубильник, снимающий высокое напряжение. Конструкция дверных замков не позволяет вынуть ключ, если дверь не закрыта. Включить рубильник можно только в том случае, если дверь ограждения будет закрыта и заперта.

При рычажной системе ручка управления рубильником механически связана с дверным заслоном замка. При выключении рубильника одновременно выдвигается заслон замка и только после этого можно открыть дверь шкафа или ограждения. При открытой

двери конструкция замка не позволяет задвинуть заслон замка обратно и, следовательно, не допускает включения рубильника, когда за ограждением работает обслуживающий персонал.

Сигнализация является распространенным средством, позволяющим обслуживающему персоналу электроустановок и радиоустановок ориентироваться подчас в очень сложной обстановке и принять меры предосторожности или предупредить неправильные действия.

По назначению сигнализация делится на 3 группы: оперативную, предупредительную и опознавательную. По способу информирования различают сигнализацию звуковую, визуальную, комбинированную и одоразационную (по запаху – в газовом хозяйстве).

Наиболее часто применяется световая или звуковая сигнализация. При световой сигнализации зеленый свет ламп показывает, что напряжение с установки снято, красный свет – что установка находится под опасным напряжением. На радиоустройствах или электроустановках до 1000 В сигнальные лампы размещаются на пульте управления или около мест, где должны проводиться работы.

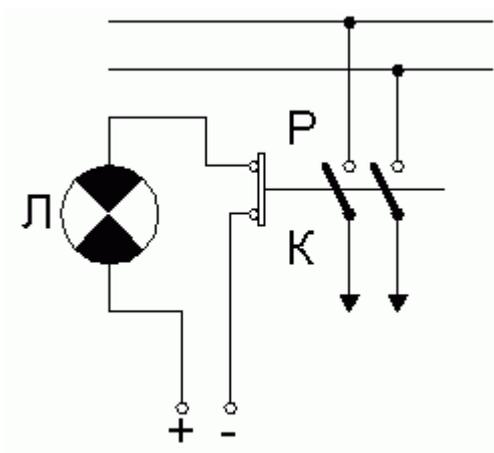


Рис. 32. Схема сигнализации безопасности

На рис. 32 дана схема сигнализации безопасности. При выключении рубильника Р блок - контакты К включают цепь питания сигнальной лампы Л. Свечение лампы указывает, что напряжение с электроустановки или радиоустройства снято. При включении рубильника Р и подачи напряжения на установку сигнальная лампа гаснет. При выходе из строя сигнальной лампы обслуживающий персонал будет предполагать, что установка находится под напряжением, и примет меры предосторожности.

Способ включения, при котором сигнальные лампы гаснут при отсутствии напряжения, имеет тот недостаток, что выход из строя лампы или нарушение контакта будет служить неверным сигналом для обслуживающего персонала. Поэтому в целях безопасности обслуживающего персонала необходимо всегда, независимо от показаний сигнальных ламп,

при входе за ограждение убедиться в отсутствии напряжения на установке при помощи переносных индикаторов напряжения.

В электроустановках напряжением выше 1000 В, кроме сигнальных ламп, применяются лампы тлеющего разряда (неоновые, аргоновые и т.п.), которые подвешиваются к тем частям установки, состояние которых они показывают. Лампы горят в электрическом поле, создаваемом включенной частью установки, и не требуют никакой проводки. На каждую фазу ставится своя лампа. Такая сигнализация облегчает работу обслуживающего персонала и предупреждает несчастные случаи.

К звуковой сигнализации относятся также звонок и сирена, предупреждающие работающих о появлении напряжения на установке.

Для ориентации персонала при осмотре, ремонте и обслуживании электроустановок большое значение имеет маркировка, которая заключается в наличии надписей, а также в различной окраске частей установки, кабелей, проводов и шин в цвета, соответствующие правилам техники безопасности. Надписи указывают назначение тех или иных проводов с относящимися к ним выключателями, предохранителями и измерительными приборами. Вместо надписей могут применяться условные обозначения в виде букв, цифр и т.д.

Плакаты, надписи и схемы должны вывешиваться в соответствующих местах установки, где работают люди.

### **Применение защитных средств в электроустановках**

1. В процессе эксплуатации электроустановок возникают условия, при которых, несмотря на самое совершенное конструктивное исполнение установок, не обеспечивается безопасность работающего, и поэтому требуется применение специальных средств защиты. К ним относятся приборы, аппараты, переносимые и перевозимые приспособления. Служащие для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током, электрического поля, продуктов горения, падения с высоты и т.п. Эти средства не являются конструктивными частями электроустановок; они дополняют ограждения; блокировки, сигнализацию, заземление, зануление и другие стационарные устройства.

Средства защиты, применяемые в электроустановках, могут быть условно разделены на четыре группы: изолирующие, ограждающие, экранирующие и предохранительные. Первые три группы предназначены для защиты персонала от поражения электрическим током и вредного воздействия электрического поля и называются электрозащитными средствами (ГОСТ 12.1.009-76).

Изолирующие электрозащитные средства. Изолируют человека от токоведущих частей, а также от земли.

Ограждающие электробезопасные средства предназначены для временного ограждения токоведущих частей, к которым возможно случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние, а также для предупреждения ошибочных операций с коммутационными аппаратами. К ним относятся временные переносные ограждения-щиты и ограждения-клетки, изолирующие накладки, временные переносные заземления и предупредительные плакаты.

Экранирующие электробезопасные средства служат для исключения вредного воздействия на работающих электрических полей промышленной частоты. К ним относятся индивидуальные экранирующие комплекты (костюмы с головными уборами, обувью и перчатками), переносные экранирующие устройства (экраны) и экранирующие тканевые изделия (зонты, палатки и т.п.).

Предохранительные средства защиты предназначены для индивидуальной защиты работающего от вредных воздействий неэлектрических факторов – световых, тепловых и механических, а также от продуктов горения и падения с высоты. К ним относятся защитные очки и щитки, специальные перчатки из трудновоспламеняемой ткани, защитные каски, противогазы, предохранительные монтажные пояса, страховые канаты, монтажные когти.

Изолирующие электробезопасные средства делятся на основные и дополнительные.

Основные изолирующие электробезопасные средства обладают изоляцией, способной длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Дополнительные электробезопасные средства не обладают изоляцией, способной выдерживать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому они не могут служить защитой от поражения током. Их назначение – усилить защитное действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться.

К основным электробезопасным средствам относятся:

в электроустановках до 1000 В.

- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжений.

в электроустановках выше 1000 В.

- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжений;

- средства для ремонтных работ под напряжением выше 1000 В.

К дополнительным электрозащитным средствам относятся:

в электроустановках до 1000 В.

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры;
- изолирующие подставки.

в электроустановках свыше 1000 В.

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- изолирующие подставки;
- диэлектрические прокладки и колпаки.

## 2. Назначение устройства и правила применения.

### 2.1. Изолирующие штанги.

Назначение. Изолирующая штанга представляет собой стержень, изготовленный из изоляционного материала, которым человек может касаться частей электроустановки, находящихся под напряжением без опасности поражения током. Штанга является основным изолирующим электрозащитным средством, т.е. она может длительно выдерживать рабочее напряжение установки. Штанги применяются в установках всех напряжений. В зависимости от назначения штанги делятся на четыре вида:

а) оперативные (ТИП ШО-10У1, ШО-35У1, ШР-110У1, где ШО – штанга оперативная, цифры означают рабочее напряжение в кВ). Применяются для операций с однополюсными разъединителями и наложения временных переносных защитных заземлений, для снятия и постановки трубчатых предохранителей (ШР-110У1), проверки отсутствия напряжения и других аналогичных работ.

б) измерительные (тип ШИ-35/110У1, ШИ-220У1). Предназначены для измерений в электроустановках находящихся в работе (проверка распределения напряжения по изоляторам гирлянды, определения сопротивления контактных соединений на проводах и т.п.).

в) ремонтные. Служат для производства ремонтных и монтажных работ вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением, или непосредственно на них: очистки изоляторов от пыли, присоединение к проводам потребителей, обрезки веток деревьев в непосредственной близости от проводов и т.п. Примером может служить штанга ШПК-10 для прокола кабеля. Она предназначена для проверки отсутствия напряжения на кабеле до 10 кВ при ремонтных работах путем прокалывания его до токоведущих жил с целью

предотвращения поражения электрическим током персонала в случае наличия напряжения на кабеле.

г) универсальные (тип ШОУ-15, ШОУ-35, ШОУ-110). Конструкция их позволяет выполнять различные операции, в том числе многие из тех, для которых предназначены оперативные штанги.

Конструкция – каждая штанга имеет три основные части: рабочую, изолирующую и рукоятку.

Рабочая часть обуславливает назначение штанги. Она может иметь самое разнообразное устройство от простого металлического крючка (кольца) у штанг, предназначенных для управления разъединителями, до сложного прибора у измерительных штанг.

Изолирующая часть служит для изоляции человека от токоведущих частей, т.е. обеспечивает его безопасность. Она выполняется из трубок диаметром 30-40 мм из бакелита, стеклопластика и других пластиков, а также деревянные стержни, пропитанные высыхающими маслами (льняными, конопляными и др.). Длина изолирующей части штанги должна быть такой, чтобы исключить опасность перекрытия ее до поверхности при наибольших возможных напряжениях, воздействующих на штангу. Наименьшая длина изолирующей части штанги зависит от напряжения электроустановки и определяется согласно ГОСТ 20494-75ю.

Рукоятка предназначена для удерживания штанги руками. Как правило, оно является продолжением изолирующей части штанги и отделяется от нее ограничительным кольцом.

Правила пользования. Штанги следует применять в закрытых электроустановках. На открытом воздухе их использование допускается только в сухую погоду. Операцию штангой может производить только квалифицированный персонал, обученный этой работе. Как правило, при этом должен присутствовать второй человек, который контролирует действие оператора и при необходимости может оказать ему помощь. При работе штангой необходимо надевать диэлектрические перчатки. Без перчаток можно работать лишь в установках до 1000 В. При работе нельзя касаться штанги выше ограниченного кольца. Периодичность электрических испытаний штанг (кроме измерительных) – 1 раз в 24 месяца, измерительных в сезон измерений 1 раз в 3 месяца, но не реже 1 раза в 12 месяцев.

## 2.2. Изолирующие клещи.

Назначение изолирующих клещей – выполнение операций под напряжением с предохранителями, установка и снятие изолирующих накладок и т.п. работы. Применяют клещи в установках до 35 кВ включительно.

Конструкция клещей различны, но во всех случаях они имеют три основные части: рабочую часть, или губки, изолирующую часть и рукоятки. Размеры рабочей части не нормируются. Однако у металлической рабочей части размеры должны быть возможно меньше, чтобы исключить случайное замыкание токоведущих частей между собой или на заземленные детали. Длина изолирующей части для электроустановок до 1000 В не нормируется и определяется удобством работы с ними, а свыше 1000 В определяется рабочим напряжением установки.

Правила пользования. Изолирующие клещи можно применять в закрытых электроустановках, а в открытых только в сухую погоду. В электроустановках выше 1000 В работающий должен иметь на руках диэлектрические перчатки, а при снятии и установке предохранителей под напряжением – защитные очки. Периодичность электрических испытаний клещей – 1 раз в 24 месяца.

### 2.3. Электроизмерительные клещи.

Назначение. Электроизмерительные клещи предназначены для измерения электрических величин – тока, напряжения, мощности и др. – без разрыва токовой цепи и нарушения ее работы. Наибольшее распространение получили амперметры переменного тока, которые обычно называют токоизмерительными клещами. Они применяются в установках до 10 кВ включительно.

Конструкция. Простейшие токоизмерительные клещи переменного тока основаны на принципе одновиткового трансформатора тока, первичной обмоткой которого является шина или провод с измеряемым током; а вторичная многовитковая обмотка, к которой подключен амперметр, намотана на разъемный магнитопровод. Для охвата шины магнитопровод раскрывается подобно обычным клещам при воздействии оператора на изолирующие рукоятки или рычаги клещей.

Электроизмерительные клещи бывают двух типов: двуручные – для установок 2-10 кВ, операции с которыми проводят двумя руками (тип Ц90), и одноручные для установок до 1000 В, которыми можно оперировать одной рукой (тип Д90, Ц91, Ц5401). Клещи имеют три составные части: рабочую, включающую магнитопровод, обмотки и измерительный прибор; изолирующую от рабочей части до упора; рукоятки – от упора до конца клещей. У одноручных клещей изолирующая часть служит одновременно рукояткой. Раскрытие магнитопровода осуществляется с помощью нажимного рычага.

Правила пользования. Электроизмерительные клещи можно применять в закрытых электроустановках, а в сухую погоду – в открытых. Измерение клещами допускается производить на изолированных токоведущих частях (провод, кабель), так и на неизолированных (шины и др.). При измерениях в установке выше 1000 В оператор должен

пользоваться диэлектрическими перчатками. Ему запрещается наклоняться к прибору для отсчета показаний. При этом должно присутствовать второе лицо. Периодичность электрических испытаний электроизмерительных клещей 1 раз в 24 месяца.

#### 2.4. Указатели напряжения.

Назначение. Указатель напряжения – это переносной прибор, предназначенный для проверки наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях. Все указатели имеют световой сигнал, загорание которого свидетельствует о наличии напряжения. Указатели бывают для установок до 1000 В и выше.

Указатели напряжения для электроустановок до 1000 В делятся на двухполюсные и однополюсные. При работе двухполюсными указателями требуются прикосновение к двум частям электроустановки, между которыми необходимо определить наличие или отсутствие напряжения. Принцип их действия – свечение неоновой лампы или лампы накаливания (мощностью не более 10 Вт) при протекании через нее тока, обусловленного разностью потенциалов между двумя частями электроустановки.

Для ограничения тока через неоновую лампу включается последовательно с ней резистор. Промышленность выпускает достаточный ассортимент 2-х полюсных указателей напряжений (УНН-10, ГУ-1, МИН-1, ПИН-90, ИН-92 – имеет стрелочный прибор).

При работе однополюсными указателями требуется прикосновение лишь к одной, испытываемой токоведущей части. Связь с землей обеспечивается через тело человека, который пальцами руки создает контакт с цепью указателя. Эта связь обусловлена в основном емкостью человек – земля. При этом ток не превышает 0,6 мА. Изготавливаются однополюсные указатели обычно в виде авторучки, в корпусе которой выполненном из изоляционного материала и имеющим смотровое отверстие, размещены последовательно включенные сигнальная лампа и резистор. На нижнем конце укреплен металлический контакт – наконечник (обычно в виде отверстия), а на верхнем – плоский металлический контакт, которого пальцем касается оператор. Однополюсный указатель можно применять только в установках переменного тока, поскольку при постоянном токе его лампочка не горит и при наличии напряжения. Выпускаются такие указатели как ИН-91, ИН-110-380.

При использовании указателями напряжений до 1000 В можно обходиться без дополнительных электрозакщитных средств.

Указатели для электроустановок выше 1000 В, называемые указателями высокого напряжения (УВН), действуют по принципу свечения неоновой лампы при протекании через нее емкостного тока. Эти указатели пригодны лишь для установок переменного тока и приближать их надо только к одной фазе.

Конструкции указателей различны, однако всегда УВН имеют три основные части: рабочую, состоящую из конденсаторной трубки (конденсатора), сигнальной неоновой лампы, контакта – наконечника; изолирующую – обеспечивающую изоляцию оператора от токоведущих частей и представляющую собой трубку из изоляционного материала, рукоятку, предназначенную для удерживания указателя рукой и являющейся обычно продолжением изолирующей части. Наименьшие допустимые размеры указателей высокого напряжения установлены ГОСТ 20493-75 в зависимости от напряжения установки.

При использовании УВН необходимо надевать диэлектрические перчатки. Каждый раз перед применением УВН необходимо произвести его наружный осмотр, чтобы убедиться в отсутствии внешних повреждений, и проверить исправность его действия приближением его наконечника к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением.

Указатели запрещается заземлять, так как они без заземления обеспечивают достаточно четкий сигнал; к тому же заземляющий провод может, прикоснувшись к токоведущим частям, явиться причиной несчастного случая.

Выпускаются УВН следующих типов: УВН-80М, УВН-10 (до 10 кВ), УВН-90 (35-110 кВ), УВНУ (до 10 кВ). Периодичность электрических испытаний: 1 раз в 12 месяцев.

#### 2.5. Инструмент слесарно-монтажный с изолирующими рукоятками.

Назначение инструмента – выполнение работ на токоведущих частях, находящихся под напряжением до 1000 В. Изолированные рукоятки инструмента должны быть длиной не менее 10 см и иметь упоры-утолщение изоляции, препятствующие соскальзыванию и прикосновению руки работающего к неизолированным металлическим частям инструмента; у отверток изолируется не только рукоятка, но и металлический стержень на всей его длине до рабочего острия.

Правила пользования. При работе инструментом с изолирующими рукоятками на токоведущих частях, находящихся под напряжением, работающий должен иметь на ногах диэлектрические галоши, либо стоять на изолирующей подставке или диэлектрическом ковре; он должен быть в одежде с опущенными рукавами. Диэлектрические перчатки при этом не требуются. Находящиеся под напряжением соседние токоведущие части, к которым возможно случайное прикосновение, должны быть ограждены изолирующими накладками, электрокартоном и т.п. Работа должна производиться в присутствии второго лица. Периодичность электрических испытаний: 1 раз в 12 месяцев.

#### 2.6. Диэлектрические перчатки, галоши, боты, сапоги и ковры.

Среди средств, защищающих персонал от поражения током, наиболее широкое распространение имеют диэлектрические перчатки, галоши, боты, ковры, а в последнее

время и сапоги. Их изготавливают из резины специального состава, обладающей высокой электрической прочностью и хорошей эластичностью.

2.6.1. Диэлектрические перчатки применяются в электроустановках до 1000 В как основное изолирующее средство при работах под напряжением, а в электроустановках выше 1000 В – как дополнительное электроразличное средство при работах с помощью основных изолирующих электроразличных средств (штанг, УВН, клещей и т.п.). Кроме того, перчатки используются без применения других электроразличных средств при операциях с ручными приводами разъединителей, выключателей и другой аппаратуры напряжением выше 1000 В.

Перчатки следует надевать на полную их глубину, натягивая раструб на рукав одежды. Недопустимо завертывать края перчаток или спускать поверх них рукава одежды. Перед применением перчаток следует проверить наличие проколов путем скручивания их в сторону пальцев. Периодичность электрических испытаний: 1 раз в 6 месяцев.

2.6.2. Диэлектрические галоши, боты, сапоги применяют как дополнительные электроразличные средства в закрытых, в сухую погоду и в открытых электроустановках при операциях, выполняемых с помощью основных электроразличных средств. При этом боты можно использовать в электроустановках любого напряжения, а галоши – только в электроустановках до 1000 В включительно.

Кроме того, диэлектрические галоши и боты используют в качестве защиты от напряжения шага в электроустановках любого напряжения. Диэлектрические галоши и боты надевают на обычную обувь, которая должна быть чистой и сухой.

В настоящее время промышленность изготавливает также диэлектрические сапоги, являющиеся, как и диэлектрические галоши, дополнительными электроразличными средствами в электроустановках до 1000 В и средством защиты от напряжения шага в электроустановках любого напряжения. Диэлектрические галоши выпускаются женские (размеры 2-6) и мужские (размеры 7-14), диэлектрические боты (размеры 10-16) и сапоги (размеры 39-47). В отличие от бытовых они не имеют лакового покрытия. Периодичность электрических испытаний диэлектрических галош – 1 раз в 12 месяцев, диэлектрических бот – 1 раз в 36 месяцев.

2.6.3. Диэлектрические ковры применяют при обслуживании электрооборудования в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражения током. При этом помещения не должны быть сырыми и пыльными. Ковры расстилают на полу перед оборудованием в местах, где возможно соприкосновение с токоведущими частями, находящимися под напряжением до 1000 В. Их применяют также в местах, где производится включение и отключение рубильников, разъединителей, выключателей и других операций с коммутационными и пусковыми аппаратами как до 1000 В так и выше.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации ковры изготавливаются двух групп: первая – для работы при температуре от  $-15^{\circ}$  до  $+40^{\circ}$  С, вторая – маслобензостойкие для работы при температуре от  $-50^{\circ}$  до  $+80^{\circ}$  С и имеют размеры от 500x500 до 800x1200 мм при толщине 6 мм. Электрические испытания не проводят, проводится осмотр 1 раз в 6 месяцев.

#### 2.7. Изолирующие подставки.

Назначение подставок - изолировать человека от поля в установках любого напряжения. Применяют их в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражения током.

Подставка представляет собой деревянный решетчатый настил размером не менее 50x50 см и высотой не менее 70 мм без металлических деталей, укрепленных на конусообразных фарфоровых или пластмассовых изоляторах, изготавливаемых специально для подставки (тип СН-6).

Подставки применяют при операциях с предохранителями, пусковыми устройствами электродвигателей, приводами разъединителей и выключателей в закрытых электроустановках любого напряжения, если при этом не пользуются диэлектрическими перчатками. В сырых и пыльных помещениях они заменяют диэлектрические ковры. Периодичность электрических испытаний: 1 раз в 12 месяцев.

#### 2.8. Временные переносные заземления.

Назначение. При работах в электроустановках необходимо считаться с возможностью случайного появления напряжения на отключенных токоведущих частях на рабочем месте. Это может быть как по прямой вине персонала, так и по другим причинам. Поэтому при таких работах наряду с мерами, предупреждающими ошибочное включение установки, должны быть приняты меры, исключающие поражение работающего током в случае появления по любой причине напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых производятся работы. Основной и наиболее надежной мерой в этом случае является соединение накоротко между собой и заземление всех фаз отключенного участка установки с помощью стационарных заземляющих разъединителей, а там, где их нет – с помощью специальных переносных защитных заземлений. При появлении напряжения на заземленных токоведущих частях возникает ток КЗ между фазами и ток замыкания на землю, который вызывает быстрое отключение установки релейной защиты от источников питания.

Конструкция. Переносное заземление – это один или несколько соединенных отрезков изолированного медного многожильного провода, снабженных зажимами для присоединения к токоведущим частям и заземляющему устройству. Сечение проводников

должно быть не менее  $16 \text{ мм}^2$  для установок до 1000 В и не менее  $25 \text{ мм}^2$  для установок выше 1000 В.

Переносное заземление, применяемое для снятия заряда с токоведущих частей при проведении электрических испытаний электрооборудования должно иметь сечение не меньше  $4 \text{ мм}^2$ .

Правила пользования. Во избежание ошибок, ведущих к несчастным случаям и авариям, наложение переносимого заземления на токоведущие части производят сразу после проверки отсутствия напряжения на этих частях. При этом должен соблюдаться следующий порядок. Сначала присоединяют к земле заземляющий проводник переносного заземления, затем указателем напряжения проверяют отсутствие напряжения на заземляемых токоведущих частях, после чего зажимы закорачивающих проводников переносного заземления с помощью изолирующей штанги накладывают на токоведущие части и закрепляют на них этой же штангой или непосредственно руками в диэлектрических перчатках. В установках до 1000 В штангу можно не применять и наложение переносного заземления производить в диэлектрических перчатках в указанном порядке.

Снятие заземлений выполняют в обратном порядке.

## 2.9. Временные переносные ограждения.

Назначение: защита персонала, работающего в электроустановках, от случайного прикосновения и приближения на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением; ограждение проходов в помещениях, в которых вход работающим запрещен; предотвращение включения аппаратов.

Ограждениями являются специальные щиты, ограждения – клетки, изолирующие накладные, изолирующие колпаки и т.п.

## 2.9. Временные переносные ограждения.

Назначение: защита персонала, работающего в электроустановках, от случайного прикосновения и приближения на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением; ограждение проходов в помещениях, в которых вход работающим запрещен; предотвращение включения аппаратов.

Ограждениями являются специальные щиты, ограждения – клетки, изолирующие накладные, изолирующие колпаки и т.п.

2.9.1. Щиты и ограждения-клетки изготавливают из дерева или других изоляционных материалов без металлических креплений. Сплошные щиты предназначены для ограждения работающих от случайного приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, а решетчатые для ограждения входов в камеры, проходов в соседние

помещения и т.п. Ограждения-клетки используют главным образом при работах в камерах масляных выключателей – при доливке, взятии проб масла и т.п.

2.9.2. Изолирующие накладки – пластины из резины (для установок до 1000 В) или гитенакса, текстолита и т.п. материала (для установок выше 1000 В) – предназначены для предотвращения приближения к токоведущим частям в тех случаях, когда нельзя оградить место работы щитами, в установках до 1000 В накладки применяют также для предупреждения ошибочного включения рубильника.

2.9.3. Изолирующие колпаки изготавливают из резины и применяют в установках напряжением 6-10 кВ для изолирования ножей однополюсных разъединителей, находящихся в отключенном состоянии, в целях предотвращения их ошибочного включения.

#### 2.10. Плакаты и знаки безопасности.

Плакаты и знаки безопасности применяют для запрещения действия с коммутационными аппаратами, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на место работ, для предупреждения об опасности приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением для разрешения определенных действий и т.п. Плакаты и знаки делятся на предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные. По характеру применения плакаты и знаки могут быть постоянными и переносными.

Предупреждающий знак выполняется в виде треугольника, окаймленного каймой черного цвета, имеет желтый фон, на котором нанесен знак “молнии” черного цвета. Служит для предупреждения об опасности поражения электрическим током. Имеет смысловое значение: “Осторожно! Электрическое напряжение”. Знак постоянный.

Предупреждающие плакаты. Служат для предупреждения об опасности поражения электрическим током. Имеют прямоугольную форму, черные буквы на белом фоне. Красная кайма. Стрелка красная (ГОСТ 12.4.027-76). Размер 280x120 мм. Пример текста: “Стой. Напряжение”, “Не влезай. Убьет”. Плакаты переносные.

Запрещающие плакаты. Служат для запрещения подачи напряжения. Красные буквы на белом фоне, красная кайма или белые буквы на красном фоне, белая кайма. Размер 240x130 мм. Пример текста: “Не включать. Работают люди”, “Не включать. Работа на линии”. Плакаты переносные.

Предписывающие плакаты. Служат для указания рабочего места (Работать здесь) или безопасного пути подъема к рабочему месту, расположенному на высоте (Влезать здесь). Плакат квадратный 250x250 мм, белая кайма, белый круг диаметром 200 мм на зеленом фоне, буквы черные внутри круга. Плакаты переносные.

Указательный плакат. Служит для указания о недопустимости подачи напряжения на заземленный участок электроустановки. Размер плаката 240x130 мм, черные буквы на синем фоне “Заземлено”. Плакат переносной.

Выбор необходимых средств защиты регламентируется правилами технической безопасности (ПТБ) при эксплуатации установок, нормами и правилами по охране труда и другими соответствующими нормативно-техническими документами, а также определяются местными условиями на основании требований этих документов.

Средство защиты необходимо хранить и перевозить в условиях, обеспечивающих их исправность и пригодность к употреблению, поэтому они должны быть защищены от увлажнения, загрязнения и механических повреждений.

После изготовления и в процессе эксплуатации средства защиты подвергаются испытаниям – электрическим, механическим. Результаты испытаний заносятся в специальные журналы, на все защитные средства, прошедшие испытания, должен ставиться штамп.

Общие правила пользования средствами защиты:

1. Электрозащитными средствами следует пользоваться по их прямому назначению в электроустановках напряжением не выше того, на которое они рассчитаны.
2. Основные электрозащитные средства рассчитаны на применение в закрытых установках, в открытых электроустановках и на воздушных линиях – только в сухую погоду.
3. Перед употреблением средств защиты персонал обязан проверить их исправность, отсутствие внешних повреждений, очистить и обтереть от пыли, проверить по штампу срок годности. Нельзя пользоваться защитными средствами, срок годности которых истек.

#### **Тема 4. Техника безопасности при эксплуатации электроустановок**

#### **Лекция 8 Производство работ в электроустановках Условия безопасной эксплуатации электроустановок.**

Выполнение работ в электроустановках требует определенных знаний. Уровень требуемых знаний определяется присвоенной квалификационной группой по технике безопасности. Чем выше квалификационная группа, тем больше требования предъявляются к работнику, его теоретической и практической подготовке. Установлено пять квалификационных групп по технике безопасности.

Необходимо также учитывать категорию помещения по электроопасности.

В отношении опасности поражения электрическим током различают помещения:

- с повышенной опасностью;
- особо опасные;
- без повышенной опасности.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются следующими признаками:

- а) токопроводящий пол;
- б) повышенная температура (если температура  $35^{\circ}\text{C}$  держится 3 часа и более);
- в) токопроводящая пыль;
- г) повышенная влажность среды (выше 75%);
- д) наличие возможности одновременного прикосновения к корпусу оборудования и заземленной металлоконструкции, либо к корпусу другого прибора.

Особо опасные помещения характеризуются:

- высокой относительной влажностью воздуха (около 100%);
- химической активностью среды;
- одновременным наличием двух признаков, присущих помещениям с повышенной опасностью.

Помещениями без повышенной считаются такие, в которых нет перечисленных факторов, характерных для первых двух категорий.

Работы в действующих электроустановках по мерам безопасности разбиваются на три категории:

- выполняемые со снятием напряжения;
- выполняемые без снятия напряжения на токоведущих частях, находящихся под напряжением,
- выполняемые без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Работой при снятии напряжения считается работа, выполняемая в электроустановке (части ее), в которой со всех токоведущих частей, в том числе с линейных и кабельных вводов снято напряжение.

Работой без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, считается работа, выполняемая на этих частях.

Работой без снятия напряжения, выполняемой вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, считается работа, при которой исключено случайное приближение работающих людей и используемых ими оснастки и инструмента к токоведущим частям на опасное расстояние и не требуются технические или организационные меры для предотвращения такого приближения.

#### **. Условия производства работ со снятием напряжения.**

Пред началом работ со снятием напряжения в электроустановках до 1000 В необходимо выполнить организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.

Выполняя технические мероприятия, необходимо:

- снять напряжение на участке, выделенном для работы и принять меры против ошибочного включения и самовключения;
- вывесить предупредительные плакаты и оградить место работы;
- указателем напряжения проверить отсутствие напряжения в том месте, где будут вестись работы, и вывесить разрешающий плакат;
- на отключенные токоведущие части после проверки отсутствия напряжения накладываются переносные заземления со всех сторон, откуда может быть подано напряжение;
- на рубильниках и на всех устройствах, при помощи которых возможна подача напряжения на электроустановку, отключенную для производства работ, вывешивать запрещающие плакаты. Снять плакаты имеет право только лицо, повесившее эти плакаты, или лицо его заменяющее.

Организационные мероприятия включают в себя:

- оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы.

Работа в электроустановках производится по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации. Наряд – это задание на безопасное производство работ, оформленное на специальном бланке установленной формы. По наряду производятся все названные выше работы.

Распоряжение – это задание на производство работ, определяющее ее содержание, место, время, меры безопасности (если они требуются) и лиц, которым поручено ее выполнение. Распоряжение может быть передано непосредственно или с помощью средств связи с последующей записью в оперативном журнале. Распоряжение имеет разовый характер, срок его действия зависит от продолжительности рабочего дня исполнителя. В порядке текущей эксплуатации выполняются работы, включенные в перечень, утвержденный руководителем предприятия (главным инженером).

**Лица, ответственные за безопасность работ, их права и обязанности.**

К этой категории относятся:

- лицо, выдавшее наряд, отдающее распоряжения;
- допускающий – ответственное лицо из оперативного персонала;

- ответственный руководитель работ;
- производитель работ;
- наблюдающий;
- члены бригады.

Право выдачи нарядов и распоряжений представляется лицам из электротехнического персонала предприятий, назначенных ответственными за электрохозяйство.

Указанные лица должны иметь группу по электробезопасности не ниже V в электроустановках напряжением выше 1000 В и не ниже IV в установках напряжением до 1000 В.

Допускающий должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV в электроустановках напряжением выше 1000 В и не ниже III – в установках до 1000 В.

Ответственный руководитель (при работах по наряду) отвечает за численный состав бригады, определенный из условий обеспечения возможности надзора за ней со стороны производителя работ (наблюдающего), и за достаточность квалификации лиц, включенных в состав бригады. Ответственному руководителю запрещается принимать непосредственное участие в работе по нарядам, кроме случаев, когда он совмещает обязанности ответственного руководителя и производителя работ.

Назначение ответственного руководителя необязательно при работах, выполняемых со снятием напряжения и без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, а также в электроустановках до 1000 В и работах, выполняемых по распоряжению.

Производитель работ, принимая рабочее место от допускающего, отвечает за правильность его подготовки и за проведение необходимых для производства работ мер безопасности.

Наблюдающий назначается для надзора за работой бригадам из лиц неэлектротехнического персонала, либо для надзора за работой бригад из электротехнического персонала в случае проведения работ в особо опасных условиях.

Наблюдающий контролирует наличие установленных на месте работы заземлений, ограждений, плакатов, запирающих устройств и отвечает за безопасность членов бригады от поражения электрическим током.

Наблюдающему запрещается совмещать надзор с выполнением какой-либо работы и оставлять бригаду без надзора во время работы. Наблюдающий назначается при работах: со снятием напряжения; без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.

Перед допуском к работе ответственный руководитель и производитель работ совместно с допускающим проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места.

После проверки подготовки рабочих мест и инструктажа бригады ответственный руководитель работ расписывается на оборотной стороне наряда, затем проверяет соответствие состава бригады и квалификации включенных в нее лиц.

Надзор во время работы осуществляется производителем работ или наблюдающим. Они должны все время находиться на месте работы по возможности на том участке, где выполняется наиболее ответственная работа.

При перерывах в работе на протяжении рабочего дня (на обед, по условиям производства работ) бригада может удалиться с рабочего места. Наряд при этом остается у производителя работ. Плакаты, заземления, ограждения остаются на месте. Возвращение без производителя работ или допускающего не разрешается.

После окончания работ рабочее место приводится в порядок, принимается ответственным руководителем, который после вывода бригады производителем работ расписывается в наряде об окончании работы и сдает его оперативному персоналу.

#### **Условия производства работ без снятия напряжения.**

При работе в электроустановках напряжением до 1000 В без снятия напряжения и вблизи от них необходимо оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение. Работы должны выполняться не менее чем двумя работниками, причем производитель работ должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV, остальные – не ниже III. Работы должны производиться с применением инструмента с изолирующими рукоятками (при отсутствии такого инструмента необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками), в диэлектрических галошах или стоя на диэлектрическом коврик. При работе с применением электрозачитных средств допускается приближение человека к токоведущим частям на расстояние, определяемое длиной изолирующей части этих средств.

#### **Молниезащита зданий и сооружений**

Молния представляет собой очень сильный разряд скопившегося атмосферного электричества, которое образуется вследствие трения о воздух капелек водяных паров в атмосфере. Грозовые тучи состоят из облаков с разными знаками заряда. Потенциал атмосферного электричества грозовых туч достигает огромных размеров. Заряд молнии составляет сотни тысяч ампер, а напряжение – свыше 2 миллионов вольт.

Воздействие молнии на здание или сооружение может проявляться в виде непосредственного разряда, вызывающего повреждение и разрушения, или в виде явлений электростатической и электромагнитной индукции, или в виде заноса высоких потенциалов через металлические коммуникации. Прямой разряд молнии, в отличие от шарового блуждающего разряда, отличается мгновенным действием. В течение долей секунды (до 100 мксек) по каналу молнии протекает ток силой 200 – 500 кА разогревая его до 20000° С и выше. Индуктивные токи и заносы высоких потенциалов могут вызвать искрение в местах сближения металлических конструкций и оборудования.

Система мероприятий, направленных на нейтрализацию опасного влияния атмосферного электричества, обеспечивающих безопасность людей, сохранность зданий и сооружений, оборудования и материалов от взрывов, разрушений и пожара, называется молниезащитой. В зависимости от характера необходимых мероприятий по молниезащите все здания и сооружения разделяются на три категории.

Первая категория – наиболее опасные промышленные здания и сооружения, в которых действие молнии может привести не только к пожару, но и взрыву и повлечь за собой большие разрушения и человеческие жертвы (склады со взрывоопасным имуществом и т.п.). Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) эти объекты относятся к классу В – I и В – II.

Вторая категория – здания и сооружения, опасные в отношении взрыва. Однако взрыв не может повлечь за собой значительные разрушения и человеческие жертвы, поскольку взрывоопасные и горючие вещества хранятся в специальной или металлической таре. Согласно ПУЭ эти объекты относятся к классу В – Ia, В – Ib и В – IIa, В – IIг.

Третья категория – все здания и сооружения, для которых прямой удар молнии представляет опасность только в отношении разрушений и пожаров. Согласно ПУЭ эти объекты относятся к классу II - I, II - II, II – IIa и II - III.

Необходимость и степень молниезащиты объекта определяется в зависимости от грозовой деятельности в месте расположения объекта, его пожаро- и взрывоопасности. Средняя грозовая деятельность за год определяется по карте среднегодовой продолжительности гроз в часах или на основании официальных данных местной метеорологической станции. Так, среднее число грозовых дней в году для городов Европейской части составляет от 5 до 39, для Кавказа 50 – 68. Географические районы с количеством грозовых дней в году до 10 принято считать слабо грозовыми, от 10 до 30 дней – грозовыми и более 30 дней – сильно грозовыми. Если число грозовых дней в году менее 10, то устройство молниезащиты нецелесообразно, за исключением отдельных зданий и сооружений, в зависимости от их пожарной опасности и ценности.

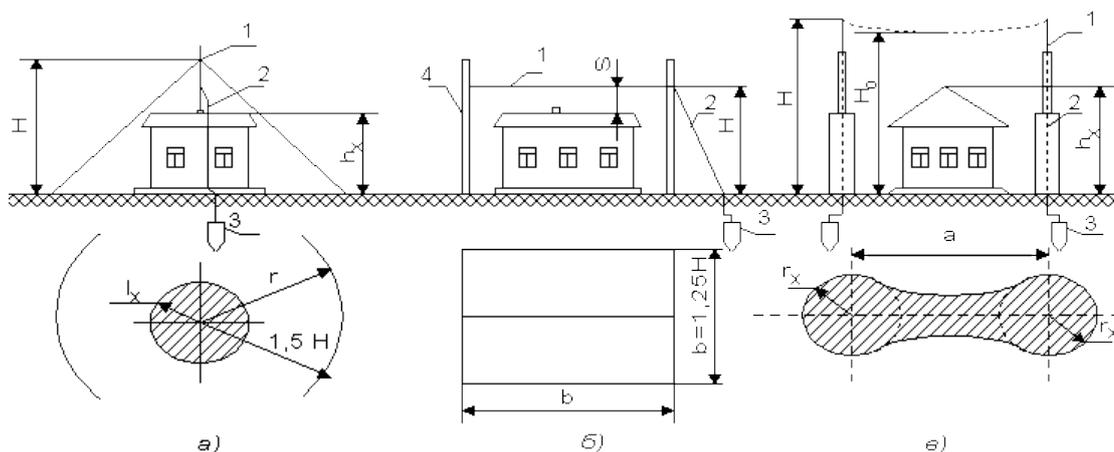


Рис. 33. Типы молниеотводов и их защитные зоны:

а) одиночный стержневой молниеотвод; б) тросовый (антенны) молниеотвод; в) двойной стержневой молниеотвод

Защита зданий и сооружений от прямых ударов молнии осуществляется молниеотводом (рис. 33), состоящим из молниеприемников 1, воспринимающих непосредственно на себя разряд молнии, заземляющих устройств 3, служащих для отвода тока в землю и тоководов 2, соединяющих молниеприемники с заземлителями. При ударе молнии разряд атмосферного электричества проходит через молниеотвод, минуя защищаемое здание или сооружение. Способ защиты от прямых ударов молнии выбирают в зависимости от характера и категории здания или сооружения.

Здания и сооружения первой категории высотой до 30 м защищаются молниеотводами, устанавливаемыми отдельно или на самом объекте защиты, но изолированно от него. Объекты выше 30 м защищают неизолированными молниеотводами, устанавливаемыми на самом объекте. Объекты второй категории защищают в основном молниеотводами, устанавливаемыми непосредственно на объекте. В объектах третьей категории, расположенных в слабозрзовых географических районах, можно ограничиться заземлением металлической крыши здания, которое служит молниеприемником.

Для зданий и сооружений первой категории предусматривается раздельное заземление от первичного и вторичного проявления молнии; для объектов второй категории допускается единое заземление.

Для защиты больших площадей, а так же для большей надежности зоны зашиты, применяют многократные стержневые молниеотводы.

Стержневой молниеотвод (рис. 33б) может быть одиночный – с одним стержнем, двойной – с двумя отдельно стоящими стержнями (рис. 33в) и многократный – с тремя и более отдельно стоящими стержнями, образующими общую зону защиты.

Тросовый молниеотвод может быть (рис 33б) одиночный, состоящий из одного троса (антенны), закрепленного на двух опорах, по каждой из них прокладывается токоотвод, присоединенный к отдельному заземлителю у основания, и двойной, состоящий из двух одиночных тросовых молниеотводов одинаковой высоты, расположенных параллельно и действующих совместно, образуя общую зону защиты.

Молниеприемники изготавливаются преимущественно из стали. Длина стержневых молниеотводов от 200 до 1500 мм, площадь сечения не менее  $100 \text{ мм}^2$ .

Токоотводы изготавливают из стальной проволоки сечением не менее  $35 \text{ мм}^2$  из многожильного троса или стали любого профиля и марки.

В качестве молниеприемников можно использовать металлические конструкции защищаемых объектов: трубы, дефлекторы, решетки и другие конструкции, возвышающиеся над объектом.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $H < 60 \text{ м}$  представляет собой конус (рис 33а). Основанием конуса или границей зоны защиты на уровне земли является окружность радиусом  $r = 1,5 H$ . Защитная зона представляет собой конус высотой  $h = 0,8 H$ .

Молниезащите подлежат опоры воздушных линий связи, радиотрансляционных сетей и антенно–мачтовые сооружения, состоящие из антенных опор, антенн, фидерных линий, включая вводы их в технические здания.

Для защиты опор воздушных линий связи и радиотрансляционных сетей от ударов молний используются стержневые молниеотводы, установленные на всех ответственных опорах воздушной линии и на участках пересечения с высоковольтными линиями.

Вводы радиотрансляционных линий и вводы антенн в здание, для защиты аппаратуры от перенапряжений, возникающих под влиянием разрядов молний, также оборудуются молниезащитой. Для защиты аппаратуры и установок от перенапряжений в воздушных линиях, возникающих при грозовых разрядах, на линиях устанавливаются искровые, газонаполненные или вентильные разрядники. Зазоры искровых разрядников регулируются в соответствии с действующими правилами технической эксплуатации. Проверка и регулировка зазоров производится весной в начале грозового периода, после каждой грозы и после каждого появления постороннего напряжения на проводах линии.

Молниезащита антенно-мачтовых сооружений от прямых ударов молнии осуществляется заземлением антенных опор и антенно-фидерных устройств. Если технология работы антенно-фидерных устройств не допускает их заземления, необходимо параллельно вводу антенны и фидера антенны в техническое здание радиостанции

установить грозоразрядник, не влияющий на работу передатчика и антенно-фидерных устройств.

Молниезащитному заземлению подлежит каждая металлическая и железобетонная антенная опора независимо от их количества, а также оттяжки металлических мачт. Для выравнивания возникающих при ударе молнии высоких потенциалов молниезащитный заземлитель опоры должен иметь электрическое соединение с заземлителем электроустановок технического здания.

Для молниезащиты кабельных линий связи применяются следующие меры:

- защита с помощью подземных проводов;
- защита с помощью воздушных проводов;
- использование грозостойких кабелей.

Для защиты кабеля от удара молнией в земле параллельно ему прокладываются защитные провода (троссы) на глубине, равной половине глубины прокладки кабеля, но не менее 0,4 м.

Защита кабеля с помощью воздушных проводов производится подвешиванием на крюках деревянных опор двух стальных проводов. Воздушная линия строится вдоль защищаемого кабеля на расстоянии 2 – 3 м от оси траншеи. Провода защитной линии заземляются через 120 – 300 м.

### **Оказание первой помощи**

Первую (доврачебную) помощь человеку, пораженному электрическим током, должен уметь оказывать каждый работающий в электроустановках. Пострадавший в большинстве случаев не может самостоятельно освободиться от воздействия тока из-за непроизвольного судорожного сокращения мышц рук, сжимающих провод, поражения нервной системы, тяжелой механической травмы или потери сознания. Поэтому, прежде всего, необходимо быстро и осторожно, с тем чтобы самому не попасть под напряжение, освободить пострадавшего от воздействия тока. Лучше всего отключить электроустановку ближайшим выключателем или путем вывертывания предохранителей (пробок). В установках напряжением до 1000 В можно разорвать цепь тока, перерезав провод инструментом с изолирующими рукоятками (кусачки, пассатижи, нож и др.). При использовании топора перерубать провода надо по одному, чтобы не вызвать короткое замыкание между проводами.

Воздушную линию электропередачи можно отключить, замкнув ее набрасыванием на вторую или третью фазу заземленного голого провода. Касаться этого провода после соприкосновения его с проводами воздушной линии нельзя. Чтобы не попасть под шаговое напряжение, нельзя приближаться к заземлителю провода на расстояние ближе 10 м.

В случае, когда пострадавший находится на высоте, после отключения электроустановки ему угрожает падение. Необходимо принять меры, предупреждающие падение или возможные ушибы пострадавшего: натянуть брезент или другую ткань, на которую принять падающего с высоты человека. Кроме того, на место предполагаемого падения можно подложить мягкий материал.

При отключении установки может погаснуть электрический свет, поэтому надо включить аварийное освещение или зажечь фонарь, свечу и т.п. Если невозможно отключить установку для освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока, необходимо отделить его от токоведущих частей. В установках с напряжением до 1000 В для этого используют любой непроводящий ток предмет, например, можно встать на сверток сухой одежды, или обмотать шарфом руку, и, взяв пострадавшего за сухую одежду, оттащить его от токоведущих частей. Лучше, конечно, использовать диэлектрические средства защиты (перчатки, боты, коврики). В случае, когда пострадавший судорожно сжал один из проводов, можно разорвать электрическую цепь через пострадавшего, отделив его не от провода, а от заземленных частей. Для этого надо подсунуть под него сухую доску, фанеру или оттянуть ноги от земли при помощи сухой веревки.

После освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока необходимо немедленно приступить к оказанию ему первой помощи. Меры по оказанию помощи зависят от степени поражения и состояния пострадавшего. Для определения состояния пострадавшего его следует уложить на спину и проверить дыхание, наличие пульса, посмотреть, узкие или широкие у него зрачки глаз. При нарушении дыхания наблюдаются неритмичные подъемы грудной клетки или редкие, как бы хватающие воздух вдохи (дыхательные движения грудной клетки на глаз вообще могут быть не видны). При этом кровь в легких недостаточно насыщается кислородом, в результате наступает кислородное голодание тканей и органов пострадавшего. Наличие пульса проверяют по лучевой артерии (примерно у основания большого пальца) или сонной артерии на шее. Отсутствие пульса свидетельствует о прекращении работы сердца. О резком ухудшении кровообращения мозга можно судить по расширенному зрачку. Все операции по определению состояния пострадавшего должны быть произведены в течение 15 – 20 с.

Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в обмороке, его следует уложить в удобное положение на подстилку и накрыть сухой одеждой. Надо немедленно вызвать врача, а до его прихода обеспечить пострадавшему полный покой, наблюдая за его дыханием и пульсом. Нельзя разрешать пострадавшему подниматься и тем более продолжать работу, даже если он чувствует себя хорошо, так как отрицательное воздействие электрического тока может проявиться не сразу. Только врач решает вопрос о

необходимости помощи и дальнейшем лечении. При невозможности быстро вызвать врача, пострадавшего срочно транспортируют в лечебное учреждение на носилках или имеющемся средстве передвижения.

В случае, когда пострадавший находится в бессознательном состоянии, но дыхание и пульс устойчивы, его надо уложить на подстилку, расстегнуть стесняющую дыхание одежду и пояс, обеспечить приток свежего воздуха и постараться привести в сознание. До прихода врача следует непрерывно наблюдать за состоянием пострадавшего. Если пострадавший дышит редко и судорожно, ему необходимо делать искусственное дыхание.

При отсутствии признаков жизни, т.е. когда у пострадавшего не наблюдается дыхание и пульс, болевые раздражения не вызывают реакции, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет, нельзя считать его умершим, а надо немедленно приступить к его оживлению, т.е. искусственному дыханию и массажу сердца. Своевременное и правильное оказание первой медицинской помощи человеку в состоянии клинической смерти, как правило, приводит к оживлению. Попытки оживления более эффективны, если с момента остановки сердца прошло не более 1 – 2 мин. Доврачебная помощь должна оказываться непрерывно, даже если время исчисляется часами. Пораженного электрическим током можно считать мертвым лишь при наличии видимых внешних повреждений (раздробление черепа, обгорание всего тела). Заключение о смерти имеет право дать только врач.

**Искусственное дыхание.** Цель искусственного дыхания – насытить кровь пострадавшего кислородом и удалить из нее углекислый газ. Из всех известных способов искусственного дыхания наиболее эффективен способ “изо рта в рот” или “изо рта в нос”. Он прост и заключается в том, что оказывающий помощь вдвухает воздух из своих легких в легкие пострадавшего через его рот или нос. Объем вдвухаемого с каждым вдохом воздуха (1000 – 1500 мл) вполне достаточен для обеспечения искусственного дыхания. Поступление воздуха в легкие визуально контролируется по расширению грудной клетки после каждого вдвухания воздуха и последующему ее спадению при прекращении вдвухания и в результате пассивного выдоха. Этот способ менее утомителен по сравнению с другими способами искусственного дыхания, но негигиеничен, поэтому вдвухать воздух следует через марлю, носовой платок и т.п.

Прежде чем приступить к искусственному дыханию, очищают рот и нос пострадавшего от слюны, слизи, земли, освобождают пострадавшего от стесняющей одежды (развязывают галстук, расстегивают ворот и пояс и т.д.), укладывают его спиной вниз на горизонтальную жесткую поверхность, поместив под плечами валик из одежды или другого материала. После этого оказывающий помощь становится на колени у изголовья пострадавшего и запрокидывает его голову назад так, чтобы подбородок находился вверху.

При этом язык отходит от входа в гортань и воздух свободно протекает в легкие, что является основным условием успешного проведения искусственного дыхания.

Если челюсти пострадавшего плотно сжаты, указательными пальцами берут за углы нижней челюсти и, упираясь большими пальцами в верхнюю челюсть, выдвигают нижнюю вперед. Удерживая ее в таком положении, оттягивают подбородок и раскрывают рот пострадавшего. Одной рукой держа голову пострадавшего в запрокинутом положении, а другой, зажав его нос или рот, начинают искусственное дыхание.

Оказывающий помощь делает глубокий вдох и с силой вдвывает воздух в рот или нос пострадавшего. Затем он откидывается назад, освобождая рот (нос) пострадавшего, и делает новый вдох для очередного вдувания. В это время грудная клетка пострадавшего опускается, происходит пассивный выдох. Если при пассивном выдохе грудная клетка спадает мало, рот на это время приоткрывают.

В минуту следует делать 10 – 12 вдуваний. При появлении у пострадавшего слабого самостоятельного дыхания воздух вдувают в момент вдоха. Искусственное дыхание проводят до тех пор, пока не восстановится собственное глубокое, ритмичное дыхание.

Существуют специальные портативные аппараты для проведения искусственного дыхания, например аппарат РПА-1 (“гармошка”). Маску аппарата, соединенную гофрированной трубкой с “гармошкой”, плотно накладывают на лицо пострадавшего и нагнетают воздух в легкие. Объем нагнетаемого воздуха устанавливают заранее с помощью ограничителя. Применение таких аппаратов весьма эффективно.

**Массаж сердца.** При отсутствии у пострадавшего пульса для восстановления кровообращения в организме необходимо проводить непрямой (наружный) массаж сердца. Массаж проводят путем ритмичного надавливания на грудную клетку пострадавшего. При этом сердце сжимается между грудиной и позвоночником и выталкивает кровь из своих полостей. После прекращения надавливания грудная клетка и сердце распрямляются, и сердце заполняется кровью, поступающей из вен. Надавливая на грудную клетку с определенной частотой, можно обеспечить достаточное кровообращение в организме в течение всего времени, пока продолжается массаж сердца.

## **Лекция 9. Электроустановки во взрывоопасных зонах. Электрооборудование в пожароопасных зонах**

### **Электроустановки во взрывоопасных зонах**

**Взрыв** - быстрое преобразование вещества (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу.

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

**Взрывоопасная зона** - помещение или ограниченное пространство в помещении или у наружной установки, в котором имеется или может образоваться взрывоопасная смесь в объеме, требующем специальных мер защиты при конструировании электрооборудования, его монтаже и эксплуатации.

Взрывоопасные зоны в зависимости от частоты и продолжительности присутствия взрывоопасной газовой смеси подразделяются на три класса.

**Зона класса 0** - зона, в которой взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или в течение длительного времени.

**Зона класса 1** - зона, в которой существует вероятность присутствия взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации.

**Зона класса 2** - зона, в которой маловероятно присутствие взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации, а если она возникает, то редко и существует очень непродолжительное время.

**Примечание** Частоту возникновения и длительность присутствия взрывоопасной газовой смеси допускается определять по правилам (нормам) соответствующих отраслей промышленности

**Помещение** - пространство, ограниченное со всех сторон ограждающими конструкциями: стенами (в том числе с окнами и дверями) с покрытием (перекрытием) и полом.

**Наружная установка** - установка, расположенная вне помещения (снаружи) открыто, либо под навесом, либо за сетчатыми или решетчатыми ограждающими конструкциями.

**Взрывоопасная газовая смесь** - смесь горючих газов или паров с воздухом при нормальных атмосферных условиях, горение которой распространяется на весь объем несгоревшей смеси.

Горючие газы относятся к взрывоопасным при любой температуре окружающей среды.

**Взрывоопасная пылевоздушная смесь** (облако взрывчатой пыли) - смесь с воздухом при нормальных атмосферных условиях воспламеняющихся веществ в виде пыли или волокон, горение которой распространяется по всей невоспламененной смеси.

Горючие пыль и волокна относятся к взрывоопасным, если их нижний концентрационный предел воспламенения не превышает  $65 \text{ г/м}^3$ .

Горючая жидкость - жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше  $61 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Горючие жидкости** относятся к пожароопасным; нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше - к взрывоопасным.

**Легковоспламеняющаяся жидкость** (далее - **ЛВЖ**) - жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше  $61 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Температура воспламенения** - температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что после их воспламенения от источника зажигания возникает устойчивое горение.

**Температура самовоспламенения взрывоопасной газовой смеси** - наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение взрывоопасной газовой смеси.

**Температура вспышки** - самая низкая температура жидкости, при которой в условиях специальных испытаний над ее поверхностью образуются пары, способные воспламениться в воздухе от источника зажигания, устойчивое горение при этом не возникает.

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

**Безопасный экспериментальный максимальный зазор (БЭМЗ)** - максимальный зазор между фланцами оболочки, через который не проходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации смеси в воздухе (между ВКПР и НКПР).

**Искробезопасная электрическая цепь** - электрическая цепь, выполненная так, что электрический разряд или ее нагрев не могут воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания.

**Взрывозащищенное электрооборудование (электротехническое устройство)** - электрооборудование (электротехническое устройство), в котором предусмотрены конструктивные меры с целью устранения или затруднения возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

**Электрооборудование (электротехническое устройство) общего назначения** - электрооборудование, выполненное без учета определенных требований, обусловленных назначением и/или условиями эксплуатации.

**Уровень взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства)** - степень взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства) при установленных нормативными документами условиях.

**Вид взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства)** - совокупность средств взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства), установленная нормативными документами.

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения подразделяется на группы:

I - рудничное взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для подземных

выработок шахт и рудников, опасных по газу или пыли;

II - взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки, кроме рудничного взрывозащищенного.

### 1.2. Классификация взрывоопасных зон

Классификация взрывоопасных зон производится по ПУЭ, ГОСТ Р 51330,9-99

Классы взрывоопасных зон представлены в табл.16.

Таблица 16.

ПУЭ	ГОСТ Р 51330.9-99	ГОСТ Р. 51330.22-99
-	0 (взрывоопасная смесь присутствует постоянно или длительно)	-
В - I	1 (существует вероятность присутствия взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации)	-
В - Ia	2 (присутствие взрывоопасной смеси в нормальных условиях эксплуатации маловероятно или оно редко и не очень продолжительно)	-
В-Iб	-	-
В-Iг	1 или 2	-
-	-	20 (горючая пыль в виде облака имеется постоянно или часто при нормальном режиме работы оборудования)
В- II	-	21 (горючая пыль в виде облака может присутствовать при нормальном режиме работы оборудования)
В- II а	-	22 (облако горючей пыли может возникать редко при ненормальном режиме работы оборудования)

Сопоставление классов зон позволяет устранить разночтение и на этой основе осуществлять рациональное размещение технологического и электротехнического оборудования в таких зонах, с точки зрения выбора соответствующего уровня взрывозащиты и обеспечения безопасности эксплуатации.

Следует учитывать также рекомендуемое приложение Г из ГОСТ Р 51330.9-99 - "Классификация взрывоопасных зон для отдельных производств и установок" (см.прил.1)

#### Классификация взрывоопасных смесей

По ГОСТ 12.1.011 все взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом классифицируются по группам и категориям.

На группы взрывоопасные смеси подразделяются по их температуре самовоспламенения (табл.17), а на категории (табл.18) -по величине так называемого безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ) между плоскими фланцами у стандартной экспериментальной оболочки[6] или по величине критического зазора [7,8]

**Таблица 17**

Группа смеси	Температура самовоспламенения, °С	Группа смеси	Температура самовоспламенения, °С	Группа смеси	Температура самовоспламенения, °С
По ПИВЭ [ 7 ]		По ПИВРЭ [8]		По ПУЭ или ГОСТ 12.1.011	
А	Свыше 450	T1	Свыше 450	T1	Свыше 450
Б	Свыше 300 до 450	T2	Свыше 300 до 450	T2	Свыше 300 до 450
Г	Свыше 175 до 300	T3	Свыше 200 до 300	T3	Свыше 200 до 300
Д	Свыше 120 до 175	T4	Свыше 135 до 200	T4	Свыше 135 до 200
		T5	Свыше 100 до 135	T5	Свыше 100 до 135
				T6	Свыше 85 до 100

**Таблица 18**

Категория взрывоопасной смеси	Критический зазор, мм	Категория взрывоопасной смеси	БЭМЗ, мм
По ПИВЭ и ПИВРЭ		По ГОСТ 12.1.011 и ПУЭ	
1	Свыше 1,0	I*	Свыше 1,0
2	Свыше 0,65 до 1,0	HA	Свыше 0,9
3	Свыше 0,35 до 0,65	IB	Свыше 0,5 до 0,9
4	Менее 0,35	HC	До 0,5

\* Категорией I обозначен рудничный метан.

### Взрывозащищенное электрооборудование

Применение электрооборудования общего назначения во взрывоопасных зонах (за небольшим исключением) по условиям пожаровзрывобезопасности недопустимо. Здесь следует применять взрывозащищенное электрооборудование [1,9], которое должно иметь минимально допустимый уровень и вид взрывозащиты и отвечать требованиям его применения во взрывоопасных смесях той или иной группы и категории.

#### Уровни взрывозащиты

Обозначение уровней взрывозащиты по разным нормативным документам [1,4,8] приводится в табл.19

**Таблица 19**

Уровень взрывозащиты электрооборудования	ГОСТ 12.2.020 и ПУЭ	ПИВРЭ
Повышенной надежности против взрыва	2	Н
Взрывобезопасный	1	В
Особовзрывобезопасный	0	О

Искробезопасные электрические цепи разделяются на три уровня (табл.20).

**Таблица 20**

Уровень взрывозащиты электрооборудования по ГОСТ 12.2.020	Знак уровня искробезопасной электрической цепи для электрооборудования группы II
Особовзрывобезопасный	$i_a$
Взрывобезопасный	$i_b$
Повышенной надежности против взрыва	$i_c$

#### Виды взрывозащиты

Обозначение видов взрывозащиты по разным нормативным документам [1,4,7,8] приводится в табл.21

**Таблица 21**

Вид взрывозащиты электрооборудования	ГОСТ 12.2.020 и ПУЭ	ПИВРЭ, ПИВЭ

Взрывонепроницаемая оболочка	d	В
Защита вида "е" (повышенной надежности против взрыва)	e	Н
Искробезопасная электрическая цепь	i	И
Масляное заполнение оболочки с токоведущими частями	o	М
Заполнение (или продувка) оболочки под избыточным давлением защитным газом	p	П
Кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями	q	К
Специальный вид взрывозащиты	s	С

### Маркировка взрывозащищенного электрооборудования

В зависимости от класса взрывоопасной зоны может применяться то или иное по уровню и виду взрывозащищенное электрооборудование, а в отдельных случаях (например, в зонах В - Ia , В - I б, В - Iг и В- II а) - электрооборудование общего назначения (т. е. без средств взрывозащиты), но с определенной степенью защиты оболочки по ГОСТ 14254-96

Согласно ГОСТ 12.2.020 в маркировку взрывозащиты электрооборудования в указанной ниже последовательности входят знаки:

уровня взрывозащиты электрооборудования (2,1,-табл.19 );

общий знак Ex (Explosionproof - взрывозащищенный), указывающий на соответствие электрооборудования стандартам на взрывозащищенное электрооборудование [11-17]

вида взрывозащиты (d , p , i , q , o , s , e – табл.21); электрооборудование с видом взрывозащиты " i " может быть обеспечено тремя уровнями (i<sub>a</sub> , i<sub>b</sub> , i<sub>c</sub> – табл.20);

группы или подгруппы электрооборудования и категории взрывоопасной смеси (II , II A, II B, II C – табл.18.);

температурного класса электрооборудования или группы взрывоопасной смеси (T1, T2, T3, T4, T5, T6- табл.17

Маркировка взрывозащиты выполняется в виде целого, не разделенного на части знака, заключенного в прямоугольник\* – табл.22

Маркировка электрооборудования по взрывозащите, согласно ПИВРЭ, содержит условные знаки, которые в приведенной ниже последовательности представляют.

уровень взрывозащиты (Н, В, О – табл.19);

наивысшую категорию взрывоопасной смеси (1, 2, 3, 4 – табл.18);

наивысшую группу взрывоопасной смеси (T1, T2, T3, T4, T5 – табл.17);

вид взрывозащиты (В, Н, И, М, П, К, С – табл.20).

Согласно ПИВРЭ маркировка электрооборудования по взрывозащите состоит из основного знака, расположенного в прямоугольнике и указывающего уровень взрывозащиты, категорию и группу взрывоопасной смеси. Вид взрывозащиты электрооборудования помещается в кружке\* –отдельно или вместе с основным знаком (под ним). Допускается выполнение знака вида взрывозащиты на одной стороне (справа) с основным знаком через пропуск или косую черту (табл.22). Если электрооборудование состоит из элементов, имеющих разные виды взрывозащиты, в маркировке указываются все

виды, обеспечивающие взрывозащищенность электрооборудования. В этом случае указывается самый низкий уровень взрывозащиты.

Электрооборудование, изготовленное по ПИВЭ, на уровне взрывозащиты не подразделяется (см. прил. 3 к гл. 7.3 ПУЭ). Виды взрывозащиты электрооборудования обозначают теми же буквами, что и по ПИВРЭ.

В маркировку взрывозащиты электрооборудования по ПИВЭ в указанной ниже последовательности входят (табл.22):

вид взрывозащиты (табл.21);

наивысшая категория взрывоопасной смеси (табл.18), если взрывозащита электрооборудования в целом или его частей обеспечивается взрывонепроницаемой оболочкой. Для электрооборудования с другими видами взрывозащиты, являющегося взрывозащищенным для взрывоопасных смесей всех категорий, вместо обозначения категории взрывоопасной смеси ставится ноль;

наивысшая группа взрывоопасной смеси (табл.17).

Для электрооборудования с защитой вида "е" (повышенная надежность против взрыва) с искрящими частями, заключенными во взрывонепроницаемую оболочку, заполненную маслом или продуваемую под избыточным давлением, вместо нуля ставится обозначение соответствующего вида взрывозащиты: В, М или П.

Для электрооборудования с искробезопасными электрическими цепями указывается наименование горючего вещества, используемого в испытаниях. Обозначение категории и группы для такого электрооборудования не проставляется.

Примеры маркировки взрывозащиты электрооборудования группы II приведены табл.22.

**Таблица 1.7**

Взрывозащита электрооборудования				Категория и группа взрывоопасной смеси, для которой предназначено электрооборудование	Маркировка взрывозащиты		
Уровень	Вид	Группа или подгруппа	Температурный класс		ГОСТ 12.2.020 и ПУЭ	ПИВРЭ	ПИВЭ
Повышенной надежности против взрыва	Защита вида "е"	II	T6	Все категории и группы	2ExeIIТ6	H4T5-I	НОД
	Защита вида "е" и взрывонепроницаемая оболочка	II В	T3	Категории II А и II В (1-3), группы T1(A) - T3(II)	2ExedIIВ T3	H3TW HB	H3Г
	Искробезопасная электрическая цепь	II С	T6	Все категории и группы	2 Exi c IСТ 6	H4T5-I	$\frac{2 \text{ И0}}{\text{Сероуг-перод}}$
Взрывобезопасный	Взрывонепроницаемая оболочка	II А	T3	Категории II А (1 и 2), группы T1	1ExdIIА T3	B2T3-B	B2Г

				(А)-ТЗ(Г)			
	Искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	II В	T4	Категории II В (3), группы T1(A)-T4(Г)	1Exi <sub>b</sub> dПВТ4	ВЗШ1В	ИЗГ Эфир
Взрывобезопасный	Заполнение объема оболочки под избыточным давлением	II С	T6	Все категории и группы	1Exp II СТ6	В4Т5-П	ПОД
	Масляное заполнение оболочки	II	T5	Все категории и группы T1(A)-T5(Д)	1ExoПТ 5	В4Т5- М	МОД
Особовзрывобезопасный	Искробезопасная электрическая цепь	II С	T6	Все категории и группы	0Exi <sub>a</sub> ПСТ 6	О4Т5-И	ИО серо- углерод
	Специальный вид и искробезопасная электрическая цепь	II С	T6	Все категории и группы	0Exsi <sub>a</sub> ПСТ 6	О4Т5- СИ	СОД И водо- род

Примечание. В скобках указаны категории и группы по ПИВЭ и ПИВРЭ.

\* Обозначения ставятся на самом оборудовании.

### Выбор электрооборудования для взрывоопасных зон

Выбор взрывозащищенного электрооборудования для взрывоопасных зон рекомендуется производить, придерживаясь определенной последовательности.

1. Нормативно и аналитически определяется класс взрывоопасной зоны и ее размеры для помещения и наружной установки в нормальном или аварийном режиме технологического процесса (табл.16), п.п. 7.3.38-7.3.53 ПУЭ.

Классы и размеры взрывоопасных зон для наружных взрывоопасных установок должны приниматься в соответствии с нормами технологического проектирования, отражающими особенности технологических процессов, учитывающими опыт эксплуатации действующих взрывоопасных установок и утвержденными в установленном порядке соответствующими министерствами и ведомствами.

2. Определяются параметры взрывоопасной среды в местах установки электрооборудования (т. е. в пределах взрывоопасной зоны): наименования и физические свойства веществ, которые могут образовать взрывоопасные смеси; категории и группы, к которым относятся взрывоопасные смеси (табл.17 и 18).

3. Определяются общие свойства и условия, характеризующие взрывоопасную среду, в которой должно эксплуатироваться электрооборудование: места, в которых температура окружающей среды превышает 35 °С, химическая активность и механическое воздействие окружающей среды на электрооборудование и др.

4. Проводится анализ маркировки взрывозащиты электрооборудования и указаний заводской инструкции по монтажу и эксплуатации, после чего сравнивается уровень и вид

взрывозащиты электрооборудования с предполагаемыми условиями его эксплуатации: класс взрывоопасной зоны, категория и группа взрывоопасной смеси, общие свойства и условия окружающей среды.

5. Учитывается возможность дальнейшего совершенствования и модернизации производства и использования в технологии более пожаровзрывоопасных веществ и материалов.

6. На основании пп. 1-5 составляется спецификация применяемого взрывозащищенного электрооборудования с учетом требований гл. 7.3 ПУЭ. и соответствующих ГОСТов (или технических условий) на отдельные виды электрооборудования.

### **Электропроводки и кабельные линии**

Выбор проводов и кабелей (п.п. 7.3.92-7.3.131 ПУЭ). Во взрывоопасных зонах любого класса можно применять провода с резиновой, поливинилхлоридной и бумажной изоляцией в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках, за исключением кабелей с алюминиевой защитной оболочкой во взрывоопасных зонах классов В- I и В - Ia .

Провода и кабели с полиэтиленовой изоляцией или оболочкой запрещается применять во взрывоопасных зонах всех классов.

Во взрывоопасных зонах классов В - I б, В - I г, В - II , В- IIa допускается применять провода и кабели как с медными, так и алюминиевыми жилами, а в зонах класса В- I и В - Ia - только с медными жилами.

Изоляция нулевых рабочих и нулевых защитных проводников (выполненная отдельной жилой кабеля или провода) должна быть равноценной изоляции фазных проводников.

Кабели, прокладываемые открыто во взрывоопасных зонах, должны отвечать требованиям (быть сертифицированы) по нераспространению горения.

При прокладке кабелей в пластмассовой электромонтажной арматуре данная продукция должна быть сертифицирована на пожарную безопасность.

При выборе жил проводников и оболочек кабелей необходимо учитывать их стойкость к окружающей среде.

Соединительные, ответвительные и проходные коробки для электропроводки должны:

а) во взрывоопасной зоне класса В- I иметь уровень взрывобезопасное электрооборудование" и соответствовать категории и группе взрывоопасной смеси;

б) во взрывоопасной зоне класса В- II предназначаться для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом. Допускается применение коробок с

уровнем "взрывобезопасное электрооборудование" с видом взрывозащиты "взрывонепроницаемая оболочка", предназначенных для газопаровоздушных смесей любых категорий и групп;

в) во взрывоопасных зонах классов В - Ia и В - I г быть взрывозащищенными для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей. Для осветительных сетей допускается применение коробок в оболочке со степенью защиты IP 65;

г) во взрывоопасных зонах классов В- I б и В- IIa иметь оболочку со степенью защиты IP 54. До освоения промышленностью коробок со степенью защиты оболочки IP 54 могут применяться коробки со степенью защиты оболочки IP 44.

Способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах приведены в табл. 23 и 24. Требования к монтажным коробам приведены в прилож.3 ПУЭ.

Таблица 23

Кабели и провода	Способ прокладки	Сети напряжением выше 1 кВ			Силловые сети и вторичные цепи до 1 кВ	Осветительные сети до 380 В
		В зонах любого класса				
Бронированные кабели	Открыто - по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах; в каналах. Скрыто - в земле (траншеях), в блоках	В зонах любого класса				
Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках	Открыто - при отсутствии механических и химических воздействий; по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в лотках, на тросах	В-Iб, В-IIa, В-Iг	В-I б, В-IIa, В-I г	В-Ia, В-I б, В-IIa, В-I г		
	В каналах - пылеуплотненных (например, покрытых асфальтом) или засыпанных песком	В-II, В-IIa	В-II, В-IIa	В-II, В-IIa		
	Открыто - в коробах	В-I б, В-I г	В-Ia, В-I б, В-I г	В-Ia, В-I б, В-I г		
Изолированные провода	Открыто и скрыто - в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса				

Примечание. Для искробезопасных цепей во взрывоопасных зонах любого класса разрешаются все перечисленные в таблице способы прокладки проводов и кабелей

Таблица 24

Вид прокладки кабелей	Классификация взрывоопасной зоны		Примечание
	Бронированные кабели	Небронированные кабели	
<i>Взрывоопасные установки в помещениях</i>			
Открыто - на кабельных конструкциях, лотках, тросах, по стальным конструкциям и т. п.	В-I, В-Ia, В-II	В-Ia*, В-I б, В-IIa,	-
В коробах: перфорированных неперфорированных (сплошных)	В-I, В-Ia В-II,	В-Ia*, В-I б В-Ia, В-I б	-
В каналах: не засыпанных песком, грунтом засыпанных песком, грунтом	В-I В-I	В-Ia, В-I б В-Ia, В-I б	См. п. 7.3.110[1]. При легких газах, При тяжелых газах и парах

пылеуплотненных (например, покрытых асфальтом)	В- II	В- II а	
В стальных трубах	-	Все классы	-
<i>Наружные взрывоопасные установки</i>			
Открыто - на кабельных конструкциях, лотках, в перфорированных коробах, по строительным конструкциям и т. п.	В-Іг	В-Іг **	-
В каналах: не засыпанных песком, грунтом	-	В - І г	При легких газах При тяжелых газах и парах
засыпанных песком, грунтом	-	В - І г	
В гунте (траншеях) То же, при отсутствии механических и химических воздействий	В - І г	- В - І г ***	-

\*Осветительные сети, прокладываемые выше 2 м от уровня пола.

\*\*При возможности механических воздействий небронированные кабели следует прокладывать в зоне В - І г в неперфорированных (сплошных) коробах или стальных трубах.

\*\*\*Сети напряжением до 1 кВ.

### Электродвигатели

Во взрывоопасных зонах любого класса электродвигатели могут применяться с напряжением до 10 кВ при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты оболочки соответствуют указанным в табл.25 или являются более высокими, а также с учетом требований п. 7.3.63 и 7.3.67 ПУЭ.

Таблица 25

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электродвигателей
В - І	Взрывобезопасный
В-Іа, В-І г	Повышенной надежности против взрыва
В - І б	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP 44 ( табл. 2.1 ). Искрящие части электродвигателя (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP 44
В - II	Взрывобезопасный
В- II а	Без средств взрывозащиты * -. Оболочка со степенью защиты не менее IP 54** ( табл. 2.1 ). Искрящие части электродвигателя (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP 54 «>

\*Во взрывоопасных зонах классов В- II и В- II а рекомендуется применять электрооборудование, предназначенное для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом (см. также п. 7.3.63 ПУЭ).

\*\*До освоения электропромышленностью электродвигателей со степенью защиты IP 54 допускается, при подтверждении многолетней безаварийной эксплуатации, применять электродвигатели со степенью защиты IP 44.

Для привода производственных механизмов во взрывоопасных зонах применяются взрывозащищенные электродвигатели.

По виду и способу устройства взрывозащиты эти электродвигатели разделяются на взрывонепроницаемые, продуваемые под избыточным давлением и повышенной надежности против взрыва (защита вида "е").

Взрывонепроницаемая взрывозащита электродвигателей обеспечивается тремя факторами: взрывонепроницаемостью, взрывоустойчивостью и температурным режимом

оболочки. Взрывонепроницаемые электродвигатели изготавливаются для работы во всех классах взрывоопасных зон, с категориями взрывоопасных смесей от ПА до НС (от 1 до 4) и группами взрывоопасных смесей от Т1 до Т5 (от А до Д).

Серии и типы отечественных взрывонепроницаемых электродвигателей приводятся в табл.26

Взрывозащита электродвигателей, продуваемых под избыточным давлением, основана на непроникновении взрывоопасной среды во внутреннюю полость электродвигателя.

Электродвигатели в этом исполнении являются крупными машинами и применяются для привода насосов, вентиляторов, компрессоров и других общепромышленных механизмов во взрывоопасных зонах всех классов (за исключением зоны В - I г), которые могут содержать взрывоопасные смеси всех категорий и групп.

Отечественные типы и серии таких электродвигателей приводятся в табл.27.

Электродвигатели повышенной надежности против взрыва при нормальном режиме работы не могут быть причиной взрыва: у них отсутствуют открытое искрение, дуги или опасные температуры. Дополнительными факторами обеспечения взрывозащиты являются: снижение допустимой температуры изолированных обмоток на 10 °С (по сравнению с допустимыми по ГОСТам), применение электроизоляционных материалов высокого качества, степень защиты оболочки не ниже IP 33 или IP 44.

Выпуск таких электродвигателей ограничен серией А десятого и одиннадцатого габаритов мощностью 55-320 кВт, напряжением 380/660 В в исполнении НОВ и НОГ.

Электродвигатели повышенной надежности против взрыва могут применяться во взрывоопасных зонах всех классов (за исключением зон класса В- I и В- II ) и во взрывоопасных смесях всех категорий при соответствии их групп.

Таблица 26

Серия или тип электродвигателя	Мощность, кВт	$U_n$ , В	Маркировка взрывозащиты	Примечание
К, КО	4-100	380/660	ВЗГ	Привод насосов, вентиляторов, лебедок
МА36	125-250	380/660	В1Г В2Г В3Г	Привод центрифуг
МА37	160	380/660	В2Г	Привод насосов
ВАО	0,4-100	220/380, 380/660	В1Г, В2Г В3Г В4Г В4Д	Область применения не конкретизируется
ВАСО	22-37 37-90	380/660 380/660	ВЗТ4-В	Привод вентиляторов
ВАСО2	22-75	до 660	1 ExdПВТ 4	Вертикальный
ВАОК (с фазным ротором)	17-55 75-250	380/600 380/660	В1Г В3Г В1Т4-В	Привод механизмов, требующих плавного пуска

ВАОВ	400-2000	6000-10000	1 ExdПВТ 4	Привод вертикальных нефтяных насосов
ВАО 2	55-315 200-2000	380/660 6000-10000	ВЗТ4-В ВЗТ5-В	Область применения не конкретизируется
ВАЗМВ1	500-2000	6000	1 ExdПВТ 4	Привод насосов, компрессоров, нагнетателей и других быстроходных механизмов
В	0,25-110	220/380 380/660	1 ExdПВТ 4	Частота оборотов 1500-3000 об/мин
2В	1,5-2,2	220/380 380/660	1 ExdПВТ 4	Привод подъемно-транспортных и других механизмов, применяемых в химической, нефтяной и газовой промышленности
	1,5-5,5	до 660	ВЗТ4-В	
	37-110	до 660	1 ExdПВТ 4	
ВА132 ВА200	3-4,5 15,5-45	380/660 380/660	1ExdПВТ4 2ExdПСТ4 2ExdПСТ4	
АИМ(С) АИМ(Р)	4-22 7-30	до 660 до 660	1 ExdПВТ 4 1 ExdПСТ 4 1 ExdПСТ 4	Привод механизмов, применяемых в химической, газовой, нефтеперерабатывающей и других отраслях

Примечание . В таблице указано электрооборудование серийного производства.

Таблица 27

Серия или тип электродвигателя	Мощность, кВт	$U_n$ , В	Частота вращения, об/мин	Обозначение взрывозащиты	Примечание
СДКП2	315-8000	6000	250-500	В4Т5-П или Н4Т5-П	Привод поршневых компрессоров
АЗ АВ	32-2000	220/380 380/660	550-3000	В4Т5-П	
СТДП	630-112500	6000-10000	3000	В4Т5-П Н4Т5-П	Привод насосов, вентиляторов и других быстроходных устройств
АТД2	315-5000	6000	3000	В4Т5-П или Н4Т4-П	
ДАП	800-2500	6000	1500	В4Т4-П	
АТД	500-2500	3000-5000	3000	или В4Т5-П	
АЗП				Н4Т5-В	
АРП				Н4Т5-В	

### Аппараты управления и приборы

Во взрывоопасных зонах электрические аппараты управления могут применяться при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты оболочки соответствуют табл. 28 или являются более высокими, а также с учетом требований пп 7.3.64-7.3.72 ПУЭ.

Таблица 28

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки аппаратов управления и приборов
В - I	Взрывобезопасное электрооборудование
В-Ia, В-Iг	Электрооборудование повышенной надежности против взрыва. Допускается применять без средств взрывозащиты для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С, в оболочке со степенью защиты не менее IP 54
В - I б	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP 44
В- II	Взрывобезопасное электрооборудование (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ)
В- II а	Без средств взрывозащиты (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ). Оболочка со степенью защиты не менее IP 54

Во взрывобезопасных зонах применяют, как правило, взрывозащищенные аппараты управления и приборы: кнопочные посты управления, выключатели конечные и путевые,

переключатели, командоаппараты кулачковые, блоки контактные, разъемные, клеммные ящики и т. п.

Некоторые характеристики аппаратов и приборов (стационарных, передвижных и переносных) и маркировка их взрывозащиты приведены в табл. 29.

Таблица 29

Наименование аппарата управления	Тип аппарата	Область применения			
		Категория взрывоопасной смеси	Группа взрывоопасной смеси	Маркировка взрывозащиты	Класс взрывоопасной зоны
Кнопочный ПОСТ управления	КУВ-1 (2, 3)	1	А	В1А	В-I(1), В-Ia(2), В- I г(2), В- II (21), В- II а (22)
	КУВ-11 (12,13)	1	А	В1А	
	КУ-91-ВЗ(92, 93)	1, 2, 3	А, Б, Г	ВЗГ	
	КУ-ВЗГ-М-1(2, 3)	1, 2, 3	А, Б, Г	ВЗГ	
	КУВ-1П(2П 3П)	1, 2, 3	А, Б, Г	ВЗГ	
	КУ-90 (1, 2, 3)	ПА, ПВ	Т1-Т5	1 ExdПВТ 5	
	ПВ	1-4	Т1-Т5	В4Т5-В	
	ПВ-К	ПА, ПВ, ПС	Т1-Т6	1 ExdПСТ 6	
Выключатели конечные и путевые	КУ-700	1, 2, 3, 4	А, Б, Г, Д	МОД	В-I(1), В-Ia(2) В - I б
	ВКМ-1 (2)	ПА, ПВ, ПС	Т1-Т5	1 ExdПВТ 51	
	ВВ-5 (6)	1	А	ExdПСТ 6	
	ВК-ВЗГ	1, 2, 3	А, Б, Г	В1А	
	ВК-ВЗГ-М	1, 2, 3	А, Б, Г	ВЗГ	
	КВ-4 (9)	1, 2, 3	А, Б, Г	ВЗГ	
	ВК-700	1, 2, 3, 4	А, Б, Г, Д	МОД	
	УП5-800	1-4	А-Д	МОД (В4Т5-М)	
	ВП-701	1-4	А-Д	МОД	
	ВП-701	II	Т1-Т6	1Exo II Т6	
	ВП-4М	II А	Т1-Т6	1 ExdIIАТ 6	
	ВПВ-4М	ПА, ПВ, ПС	Т1-Т6	1 ExdПСТ 6	
ВПВ-1	II А	Т1-Т6	1 ExdIIАТ 6		
Командоаппарат кулачковый	КА-4800	1-4	Т1-Т5	В4Т5-М	В-I(1), В-Ia(2) В - I б
Блоки контактные	БКВ-1	ПА, ПВ, ПС	Т1-Т6	1 ExdПСТ 6	
Разъем взрывозащищенный	ВР-61М	ПА, ПВ	Т1-Т4	1 ExdПВТ 4	
Ящики клеммные	ЯК	II	Т1-Т5	2ExeIIТ5	В-Ia(2), В-I г (2), В- II (21), В- II а(22)
Устройства заземления автоцистерн (УЗА)	УЗА-2МИ	IIА - ПС	Т1-Т6	1 ExsIIТ 6	В-I(1), В-Ia(2), В- I г(2), В- II (21)
	УЗА-2МК			1 Exsi <sub>в</sub> IIТ 6	

### Светильники

Во взрывоопасных зонах могут применяться электрические светильники (стационарные и переносные) при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты оболочки соответствуют табл. 30 или являются более высокими (п.7.3.66)

Отечественная промышленность выпускает взрывозащищенные светильники с видом защиты "взрывонепроницаемая оболочка" (взрывонепроницаемые) и защиты вида "е" (повышенной надежности против взрыва).

Взрывонепроницаемые светильники. Все части таких светильников, где возможны искрение и высокая температура (патрон, источники света и др.), заключаются во взрывонепроницаемую оболочку. Оболочка может состоять из корпуса и защитного стекла.

Конструктивные особенности взрывонепроницаемых светильников можно проследить на примере устройства светильника ВЗГ-200АМС (рис.34).

Таблица 30

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты оболочек светильников
В - I	Взрывобезопасный
В-Iа, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В - I б	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP 54. Для светильников с люминесцентными лампами - степень защиты 5'3* по ГОСТ 17677-82
В- II	Повышенной надежности против взрыва (при соблюдении требований п.7.3.63 ПУЭ)
В- II а	Без средств взрывозащиты (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ)). Степень защиты IP 54. Для светильников с люминесцентными лампами - степень защиты 5'3* по ГОСТ 17677-82 (при соблюдении требований п. 7.3.63 ПУЭ)

\*5'3 означает, что защитную оболочку имеет не весь светильник, а лишь отдельные его части, например ламподержатели, стартер и др.

В маркировке светильника приняты обозначения: В - взрывонепроницаемый; ЗГ - категория и группа взрывоопасной смеси; М - модернизированный; 200 - мощность лампы в Вт.

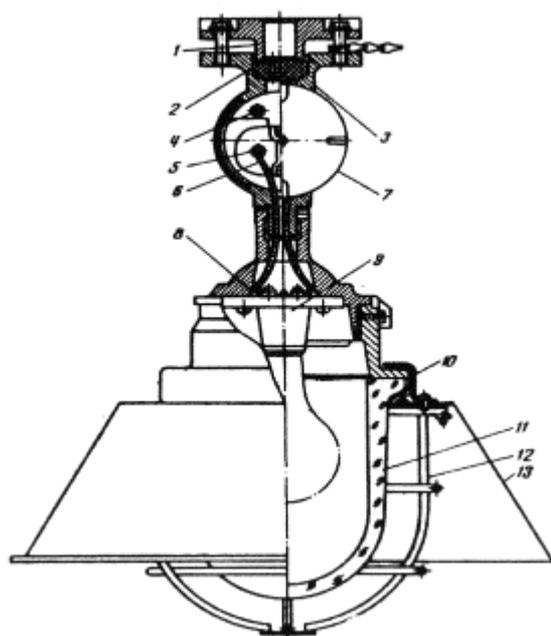


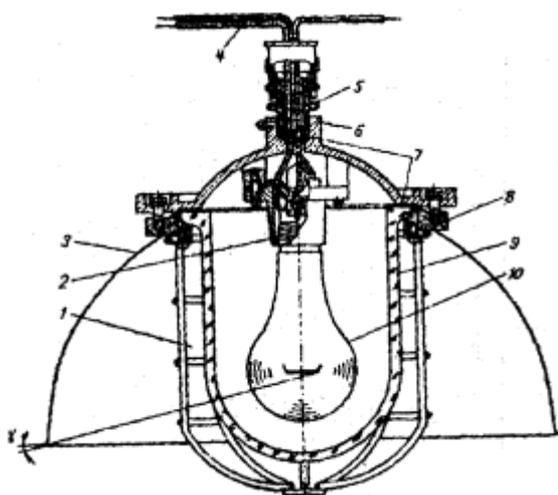
Рис. 34 Светильник ВЗГ-200 АМС:

- 1 - нажимная муфта; 2 - корпус вводного устройства; 3 - резиновое уплотняющее кольцо; 4 - винт заземления; 5 - контактный зажим; 6 - провод марки ПРКС; 7 - крышка; 8 - корпус; 9 - патрон; 10- стяжное кольцо; 11 - защитный колпак; 12 -защитная сетка; 13 – отражатель

По назначению взрывонепроницаемые светильники делятся на две группы: общего и местного освещения. Светильники общего освещения - стационарные; местного, как правило, - переносные.

Основные данные таких светильников, применяемых во взрывоопасных зонах, приведены в табл.31.

Светильники повышенной надежности против взрыва. Взрывозащита таких светильников (рис.35) обеспечивается прочностью (но не взрывоустойчивостью) металлического корпуса и защитного стеклянного колпака, применением взрывонепроницаемого патрона и уплотняющих резиновых прокладок в местах ввода проводников и в соединении корпуса со стеклянным колпаком, а также тепловым режимом, при котором температура наиболее нагретых частей не превышает допустимой для указанных в маркировке групп взрывоопасных смесей.



**Рис. 35. Светильник НЗБ-150М:**

1 - защитная сетка; 2 - взрывонепроницаемый патрон; 3 - отражатель; 4 - провод ПРКС; 5 - штуцер; 6 - корпус; 7 - уплотнительное кольцо и сальники; 8 - кольцо; 9 - защитный колпак; 10 - лампа накаливания

Основные данные таких светильников, применяемых во взрывоопасных зонах, приведены в табл.32 .

Маркировка: Н - повышенной надежности против взрыва; ЗБ - категория и группа взрывоопасной смеси; 150 - мощность лампы в Вт; М - модернизированный.

Таблица 31

Тип светильника	Маркировка взрывозащиты светильника	Краткая характеристика светильника			Область применения светильника	
		номинальное напряжение, В	мощность, Вт	масса, кг	по категориям взрывоопасной смеси	по группам взрывоопасной смеси
Стационарные светильники						
В4А-60А	В4А	220	60	6,3	1-4	А
ВЗГ-60	ВЗГ	220	60	5	1,2,3	А, Б, Г
ВЗГ-100А	ВЗГ	220	100	8	1,2,3	А, Б, Г
ВЗГ-200АМС	ВЗГ	220	200	7,5	1,2,3	А, Б, Г
ВЗГ-300	ВЗГ	220	300	15	1,2,3	А, Б, Г

СПА-ВЗГ	ВЗГ	2,5	3,6	8,5	1,2,3	А, Б, Г
СПРМ-300-ВЗГ	ВЗГ	220	300	2,4	1,2,3	А, Б, Г
ШС-ВЗГ ШС-1-ВЗГ	ВЗГ	24	50	11,8-11,5	1,2,3	А, Б, Г
ШСО-ВЗГ	ВЗГ	24	50	11,8-11,5	1,2,3	А, Б, Г
ФВН-64	ВЗГ	12	50	8,5	1,2,3	А, Б, Г
ПВ-100	ВЗГ	127/220	100	9,5	1,2,3	А, Б, Г
Плафон-ВЗ Плафон-В	ВЗГ	24	10-25	1,2	1,2,3	А, Б, Г
Плафон ПВ-100 Плафон ПВ- 100М-1	ВЗГ	127/220	100	10-9,8	1,2,3	А, Б, Г
С-3В1, С-3В2	ВЗГ	12-24	10	0,65	1,2,3	А, Б, Г
ВЗГ-ДРЛ-125(80)	ВЗГ	220	80-125	13,5	1,2,3	А, Б, Г
ВЗГ/В4А-200МС	ВЗГ-В4А	220	200	8,3	1,2,3/4	А, Б, Г/А
В4А-60	В4А	220	60	6	1-4	А
В4А-Ю0	В4А	110/220	100	14,2	1-4	А
СЗВ-15 СЗВ-60	В1Т4-В	220	15-60	6,2-6,45	1	Т1, Т2, Т3, Т4
РСПЗ1-80	1 ExedПСТ 4	220	80(ДРЛ)	11	ПА - ПС	Т1-Т4
РСП25-80, 125, 250	1 ExedПСТ 4	220	80, 125, 250(ДРА)	14,5-15,5	ПА - ПС	Т1-Т4
ГСП25-125, 175, 250	1 ExedПВТ 4	220	125, 175, 250 (ДРИ)	14,5-15,5	ПА-ПВ	Т 1- Т 4
ВЗТЗ - ДРЛ 250	1ExedПВТ3	220	250	18	1, 2, 3	А, Б, Г
ОМР- 125(250)/ВЗГ- ДРЛ125(250)ПРА	ВЗГ	220	125, 250	15,29	1, 2, 3	А, Б, Г
ФВН-64-1 ФВН-64-2	ВЗГ	12	28	2, 75	1, 2, 3	А, Б, Г
Переносные светильники						
ВЗГ-25	ВЗГ	24	25	6,5	1, 2, 3	А, Б, Г
БП-62-ВМ	ВЗГ	24	15	1,3	1, 2, 3	А, Б, Г
ПР-60-В	ВЗГ	12	15	2,1	1, 2, 3	А, Б, Г
СПВ-9	ВЗГ	12	8,2	2,5	1, 2, 3	А, Б, Г
СПВ-27М	ВЗГ	12	27	1,15	1, 2, 3	А, Б, Г
СР-ВЗГ	ВЗГ	12	18	0,8 (без кабеля)	1, 2, 3	А, Б, Г
<a href="#">СВР</a>	ВЗТЗ-В	12	-	0,9	1, 2, 3	Т1, Т2, Т3
ПР-60-ВМ ПР-64-ВМ1 ПР-64-ВМП	ВЗГ	24	15	1,4	1, 2, 3	А, Б, Г
СГВ-1 СГВ-2	ВЗГ	Аккумулятор	3,75	3,25	1, 2, 3	А, Б, Г
СЗГ-2	СЗГ		2,4	3,3	1, 2, 3	А, Б, Г
СЗГ-14	СЗГ		2,4	3,1	1, 2, 3	А, Б, Г
САВ-3,75	В4Д		3,75	3,4	1-4	А, Б, Г, Д
УАС-3В	ВЗГ		0,25	2,1	1, 2, 3	А, Б, Г
НРП09×3,75	В4Т5-В		3,75	3,6	1-4	Т1-Т5

Таблица 32

Тип светильника	Маркировка взрывозащиты светильника	Краткая характеристика светильника			Область применения светильника *	
		номинальное напряжение, В	мощность, Вт	масса, кг	по категориям взрывоопасной смеси	по группам взрывоопасной смеси
Н4БН-150	Н4Б	220	150	7	1-4	А, Б
Н4Б-300МА	Н4Б	220	300	10,5	1-4	А, Б
НЗБН-300-1	НЗБ	220	300	7,5	1, 2, 3	А, Б
НЗН-300-2	НЗБ	220	300	7,5	1, 2, 3	А, Б
Н4Б-300МА	Н4Б	220	300	10,8	Т4	А, Б
НОГЛ-1Х80	НОГ	220	80	15-25	1-4	А, Б, Г

НОГЛ-2Х80						
НОДЛ-1Х40 НОДЛ-2Х40	НОД	220	40	11-20	1-4	А, Б, Г, Д
Н4А-ДРЛ-250	Н4А	220	250	11	1-4	А
Н4Т2Н-300	Н4Т2-НВ	220	300		1-4	Т1, Т2
Н4Т4Л1Х80 Н4Т4Л2Х80	Н4Т4-НВ	220	80	14-27	1-4	Т1-Т4
Н4Т5Л1Х65 Н4Т5Л2Х65	Н4Т5-НВ	220	65	14-27	1-4	Т1-Т5
РСП25-80	2ExedПСТ4	220 ( ДРЛ )	80	14,5	ПА-ПС	Т1-Т4
РСП-125,175,250	2 ExedПСТ 4	220 (ДРИ)	125, 175, 250	14,5-15,5	П А- П С	Т1-Т4
OWP -250/ Н4Т2 ДРЛ250/ПРА	Н4Т2-Н	220 (ДРИ)	250	19	1-4	Т1, Т2
НСП 23-220	2ExedПСТ2	220	200	6,5	ПА-ПС	Т1, Т2

\* Разрешается применять во взрывоопасных зонах всех классов, кроме класса В - I .

### **Заземление и зануление электроустановок во взрывоопасных зонах**

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции должна быть применена, по крайней мере, одна из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение, разделяющий трансформатор, малое напряжение, двойная изоляция, выравнивание потенциалов [1,9].

Основными из них являются заземление, зануление и выравнивание потенциалов.

Заземлением какой-либо части электроустановки или всей установки называется преднамеренное электрическое соединение с заземляющим устройством.

Заземлителем называется проводник (электрод) или совокупность электрически соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющим проводником называется проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Занулением в электроустановках напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение частей электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.

Нулевым защитным проводником в электроустановках напряжением до 1 кВ называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

Нулевым рабочим проводником в электроустановках до 1 кВ называется проводник, используемый для питания электроприемников, соединенный с глухозаземленной нейтралью

генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

В электросетях до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью нулевой рабочий проводник может выполнять функции нулевого защитного проводника.

Во взрывоопасных зонах заземление или зануление следует выполнять при любых напряжениях переменного или постоянного тока. В качестве заземляющих или защитных нулевых проводников должны применяться специальные голые и изолированные проводники. Естественные проводники (металлические и железобетонные конструкции и трубопроводы производственного назначения, стальные трубы электропроводки, металлические оболочки кабелей и т. п.) допускаются только как дополнительные.

Общие и специфические требования к установкам защитного заземления и зануления во взрывоопасных зонах приведены в пп. 7.3.132-7.3.141 гл. 1.7 ПУЭ.

## **ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНОГО ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Проблема безопасности при использовании электрооборудования во взрывоопасных производствах приобретает особое значение в связи с эксплуатацией большого количества зарубежного взрывозащищенного электрооборудования, поставляемого в Россию как отдельно, так и в комплекте с технологическим оборудованием.

Выбор и применение в России зарубежного взрывозащищенного электрооборудования ранее регламентировались отраслевым стандартом [ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79. Оборудование электротехническое взрывозащищенное. Выбор и применение зарубежного электрооборудования для взрывоопасных установок.], а в настоящее время - требованиями гл. 3.4 Правил [Правила эксплуатации электроустановок потребителей.] и Инструкции [РД-03-67-94. Инструкция о порядке выдачи разрешений на выпуск и применение горно-шахтного оборудования, взрывозащищенных и в рудничном нормальном исполнении электротехнических изделий Федеральным горным и промышленным надзором России. ].

Страны, производящие и поставляющие взрывозащищенное электрооборудование, имеют национальные стандарты (правила) на его проектирование, испытание, маркировку, выбор и применение, а также стандарты на классификацию взрывоопасных установок (зон) и взрывоопасных смесей.

Кроме национальных стандартов существуют международные рекомендации и нормы, например:

рекомендации международной электротехнической комиссии - МЭК (IEC),

объединяющей практически все страны, изготовляющие или потребляющие взрывозащищенное электрооборудование;

европейские нормы (EN), являющиеся обязательными для включения в национальные стандарты стран - членов Европейского комитета по координации электротехнических норм (CENELEC).

Большинство зарубежных стандартов и правил существенно различаются между собой и отличаются от норм России.

Таким образом, обилие норм, стандартов и рекомендаций затрудняет сопоставление электрооборудования по его взрывозащите и усложняет проблему выбора, монтажа и эксплуатации зарубежного взрывозащищенного электрооборудования, которое должно соответствовать требованиям российских норм и правил.

В Россию зарубежное взрывозащищенное электрооборудование поступает, как правило, в комплекте с технологическими взрывоопасными установками, но может закупаться и индивидуально (россыпью). В комплекте со взрывозащищенным электрооборудованием должна быть и соответствующая документация от фирмы-изготовителя или фирмы-поставщика.

В состав технической документации входят:

перечень электрооборудования, в котором указывается вид взрывозащиты (по зарубежным стандартам и стандартам России), маркировка взрывозащиты (по зарубежным стандартам);

взрывоопасные условия применения (класс взрывоопасной зоны, категория и группа взрывоопасной смеси по зарубежным стандартам и стандартам России);

сертификат (копия свидетельства) о взрывозащищенности каждого изделия (или партии однотипных изделий). В сертификате указывается: стандарт, по которому изготовлено электрооборудование; вид взрывозащиты; маркировка взрывозащиты и взрывоопасная среда, на которую рассчитано электрооборудование. Сертификат должен быть согласован с национальной (зарубежной) испытательной организацией. Образцы сертификатов приведены в документах [РД-03-67-94. Инструкция о порядке выдачи разрешений на выпуск и применение горно-шахтного оборудования, взрывозащищенных и в рудничном нормальном исполнении электротехнических изделий Федеральным горным и промышленным надзором России., ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79.];

инструкция по монтажу и эксплуатации;

сборочные чертежи электрооборудования или его узлов с указанием мер, средств и параметров, обеспечивающих взрывозащиту.

Маркировка взрывозащиты электрооборудования согласно национальным стандартам

зарубежных стран и международных организаций приводится в [ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79., 27]. Маркировка взрывозащиты содержит условные знаки или данные, которые отражают (см. табл. 2.6, 2.7 [Черкасов В.Н., Кузнецов В.А. Методические указания к решению задач по выбору электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных производств. - М.: ВИПТШ, 1998.]; табл. 5 [Черкасов В.Н. Методика оценки соответствия зарубежного взрывозащищенного электрооборудования требованиям правил пожарной безопасности\_] и [ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79. ]):

принадлежность электрооборудования к взрывозащищенному (общий знак взрывозащиты, например, Ex , Eex , S , Rb , AD , SA и др.). Стандарты Японии и Швеции общего знака не имеют;

вид взрывозащиты (см. табл. 2.6, 2.7 [Черкасов В.Н., Кузнецов В.А. Методические указания к решению задач по выбору электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных производств. \_]; табл. 5 [Черкасов В.Н. Методика оценки соответствия зарубежного взрывозащищенного электрооборудования требованиям правил пожарной безопасности] и [ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79.]). Стандарты Бельгии, США, Канады, а также ранее действовавшие стандарты Англии и Франции этих данных не содержат;

категорию взрывоопасной смеси (см. табл. 2.2, 2.3 [Черкасов В.Н., Кузнецов В.А. Методические указания к решению задач по выбору электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных производств.]; табл. 2 [Черкасов В.Н. Методика оценки соответствия зарубежного взрывозащищенного электрооборудования требованиям правил пожарной безопасности] и [ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79. \_]). Категория указывается для электрооборудования или узла, имеющего вид взрывозащиты "взрывонепроницаемая оболочка" и, как правило, "искробезопасная электрическая цепь";

группу взрывоопасной смеси (см. табл. 2.4 и 2.5 [Черкасов В.Н., Кузнецов В.А. Методические указания к решению задач по выбору электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных производств.; табл. 3 [Черкасов В.Н. Методика оценки соответствия зарубежного взрывозащищенного электрооборудования требованиям правил пожарной безопасности] и [ОСТ 160.800.699-79 - ОСТ 16 0800.704-79.]). Согласно стандартам США, Канады, а также ранее действовавшим стандартам Англии, Франции и Италии взрывоопасные смеси не классифицировались по группам, поэтому в этих случаях в маркировке группа не указывается.

В маркировке взрывозащиты электрооборудования, кроме основных знаков, могут указываться дополнительные данные, такие, как номер сертификата, номер стандарта, зона взрывоопасности, допустимые параметры по искробезопасности ( $U$  ,  $I$  ,  $L$  ,  $C$ ), допустимое время, допустимая температура нагрева частей электрооборудования.

Во всех зарубежных стандартах для всех видов взрывозащиты, кроме искробезопасных электрических цепей, отсутствует деление на уровни взрывозащиты.

Выбор взрывозащищенного электрооборудования рекомендуется производить, придерживаясь определенной последовательности.

### **Сопоставление отечественной и зарубежной классификаций взрывоопасных зон**

Классификации взрывоопасных зон (установок), принятые в разных странах и организациях, существенно различаются между собой, вследствие чего, как правило, отсутствует однозначное соответствие классов зон по разным стандартам.

Однако для целей выбора зарубежного взрывозащищенного электрооборудования сопоставление зарубежных классификаций с классификацией по ПУЭ возможно и необходимо ( табл.33).

### **Сопоставление классификаций взрывоопасных смесей по ПУЭ и зарубежным стандартам**

Классификация и распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам в соответствии с действующими стандартами ряда стран и международных организаций приводятся в стандартах.

Как в России, так и за рубежом классификация взрывоопасных смесей по категориям производится по величине критического зазора. Однако методика оценки категории смеси, оборудование, применяемое для этих целей, а также граничные численные значения зазоров, по которым взрывоопасную смесь относят к той или иной категории, различаются. Чтобы оценить возможность применения зарубежного взрывозащищенного электрооборудования в среде той или иной категории, в большинстве случаев достаточно сопоставить зарубежные классификации с соответствующей классификацией по ПУЭ.

Таблица 33

ПУЭ	Россия		Франция, МЭК	Германия	Япония	Англия	Италия	США, Канада	Чехия
	ГОСТ Р. 51330.9.-99	ГОСТ Р 51330.22- 99							
-	0	-	Zone 0	Zone 0	Class 0 Location	Div. 0	Classe 1 Div. 0	-	SNV 3
В-I	1	-	Zone 1	Zone 1	Class 1 Location	Div. 1	Classe 1 Div. 1	Class 1 Div. 1	SNV 2
В-Ia	2	-	Zone 2	Zone 2	Class 2 Location	Div. 2	Classe 1 Div. 2	Class 1 Div. 2	SNV 1
В-I б	-	-	-	-	-	-	-		-
В-Iг	1	-	Zone 1	Zone 1	Class 1 Location	Div. 1	Classe 1 Div. 1	Class 1 Div. 1	SNV 2
	2	-	Zone 2	Zone 2	Class 2 Location	Div. 2	Classe 1 Div. 2	Class 1 Div. 2	SNV 1
В- II	-	21	-	Zone 10	-	-	Classe 2 Div. 1	Class 2 Div. 1	-
В- II a	-	22	-	Zone 11	-	-	Classe 2 Div. 2	Class 2 Div. 2	-

Такое сопоставление соответствия категорий взрывоопасных смесей возможно по табл.34.

Классификация взрывоопасных смесей по группам производится по температуре самовоспламенения. В табл. 35 представлены классификации взрывоопасных смесей по группам в зарубежных странах и России.

В ряде случаев данных, представленных в табл. 34 и 35, может быть недостаточно для сопоставления категорий и групп взрывоопасных смесей и решения вопроса о применении зарубежного взрывозащищенного электрооборудования в конкретных взрывоопасных зонах. В этих случаях необходимо знать распределение конкретных взрывоопасных смесей по категориям и группам в соответствии с национальными стандартами и сравнить его с данными табл. 7.3.3 ПУЭ или прил. 3 ГОСТ 12.1.011

### Соответствие маркировок зарубежного и отечественного электрооборудования по взрывозащите

Выбор зарубежного взрывозащищенного электрооборудования и оценка его соответствия требованиям ПУЭ предполагают:

выбор уровня и вида взрывозащиты электрооборудования на соответствие классу взрывоопасной зоны (см. табл. 2.7

выбор маркировки (знака) взрывозащиты на соответствие взрывоопасной смеси (по категории и группе) - см. табл34и 35.

В табл. 36 приводятся некоторые соответствующие маркировки по взрывозащите зарубежного и отечественного электрооборудования и области его применения во взрывоопасных средах.

Таблица 34

Россия ( ПУЭ, ГОСТ 12.1.011-78) Англия (BS 4883-1971) Франция (NF C 23-514, 1977) CENELEC (EN 50014,1977) ФРГ (VDE 0170/0171, Teil /12/70) Бельгия (NBN 286, 1965) Италия (Norme 31-1/ x -1989) МЭК (Publication 79-1, 1971)	Югославия (TEHNICKI PROPISI, 1968)	Венгрия (MSZ4814/1-72) CPP (STAS 6877-68)	Япония (JIS C 0903, 1972)	Швеция (SEN - 210800, 1969)	США (NES - 500-1975) Канада (C222 6 30-1970)	Чехия (CSN 341480, 1969)	
II A	II A	I	1	1	D	P	
		II					
II B	II B	III	2	2	C	S	
II C	II C	IV/a	IV/x	3a	3	B	H
		IV /в		3в			
	IID	IV /с	3с				

Примечания. В ряде стран, например в США, Канаде, по терминологии вместо категории взрывоопасной смеси принята группа, в Японии - класс взрыва.

2. Категории взрывоопасной смеси с индексами IID , IV / с , II C, 3с и А соответствуют критическому зазору взрывоопасной смеси ацетилена, а с индексами IV / х и 3п - всех веществ этих категорий.

3. Наименование стран в этой и других таблицах разд. 2 соответствует ранее действовавшему ОСТ 160.800.699-79

Таблица 35

Температура самовоспламенения, свыше, °С	Россия ( ПУЭ, ГОСТ 12.1.011-78) Югославия ( ТЕHНICKИ PROPISI , 1968) Англия ( Ех - Мемо 1; 1972) Германия (VDE 0170/0171, Teil /12.70) Италия ( Norme 31-1/х -1989) Франция ( NF С 23-514, 1977) CENELEC ( EN 50014, 1977) МЭК ( Publication 79-1,1971)	Чехия (CSN 341480, 1969)	Венгрия (MSZ 4814/1-72) Япония (JIS С 0903, 1972) Бельгия (NBN 717/1967 - для защиты вида "е")	Швеция (SEN - 210800,1969)	Бельгия (NBN 286,1965 - для взрывозащиты "взрывонепроницаемая оболочка")
450	T1	A	G 1	T1	N
300	T2	B	G 2	T2	O
200	T3	C	G 3	T3	P
175	T4	D	G 4	T4	
135					Q
120	T5	E	G 5	T5	
100	T6	F	-	-	
85					-

Примечание. Классификация взрывоопасных смесей по группам действующими стандартами США (NEC -500-1975) и Канады (C222 6 30-1970) не предусмотрена.

Таблица 36

Вид взрывозащиты	Взрывоопасная смесь	Маркировка по взрывозащите							
		Россия			ЧССР	ФРГ	Япония	АНГЛИЯ	Франция, CENELEC
		ГОСТ 12.2.020	ПИБРЭ	ПИБЭ					
d	Метан	1 ExdIIAT 1	B1T1-B	B1A	$\frac{Ex3}{PIA}$	ExdIIAT1	d1G1	ExdIIAT1	ExdIIAT1
	CS2	1ExdIICT6	B 4 T 5-В	B4Д	$\frac{Ex3}{HIF}$	ExdIICT6	d3 в G5	ExdIICT6	ExdIICT 6
e	Серный эфир	2ExeIICT4	H4T4-H	КОГ	$\frac{ExO}{HID}$	ExeIICT4	eG4	ExeIICT4	ExeIICT4
o	Дивинил	1ExoIIBT2	B3T2-M	МОД	$\frac{Ex3}{SIB}$	ExoIIBT2	oG2	ExoIIBT2	ExoIIBT2
p	Трихлорсилан	1 ExpIICT 3	B4T3-П	ПОГ	$\frac{Ex6}{HIC}$	Exp II CT3	fG 3	Exp II CT3	Exp II CT3
s	Окись этилена	1ExsIIBT2	B3T2-C	СОБ	$\frac{Ex8}{SIB}$	ExsIIBT2	sG2	ExsIIBT2	ExsIIBT2
i	H 2	1 ExiIICT 1	B4T1-И	ИО водород	$\frac{Ex9}{HIA}$	ExiIICT1	iG1	ExiIICT1	ExiIICT 1

### ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОНАХ

Пожароопасная зона - пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) материалы и вещества в условиях нормального технологического процесса или при его нарушениях.

В пожароопасных зонах применяется электрооборудование общего назначения (см.рис.34). При этом степень защиты оболочки электрооборудования должна соответствовать классу пожароопасной зоны.

На оболочку такого электрооборудования, или на табличку с его паспортными данными, или в местах, указанных в стандартах или технических условиях, могут наноситься условные обозначения степени защиты оболочки по ГОСТ 14254-86.

Она обозначается латинскими буквами IP (начальные буквы слов International Protection ). Следующие за ними две цифры обозначают: первая цифра - степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими частями и попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел; вторая - степень защиты оборудования от проникновения внутрь оболочки воды. В табл.37 приведены наиболее часто встречающиеся степени защиты оболочек электрооборудования, а в табл.38 и 39 определения степеней защиты оболочек.

Если для электрооборудования не требуется один из видов защиты или испытания по данному виду защиты не производятся, то в условном обозначении допускается проставлять знак " X " вместо цифрового обозначения. Например: IPX 2, IP 3 X и т. д.

При выборе электрооборудования, устанавливаемого в пожароопасных зонах, необходимо учитывать также условия окружающей среды (химическую активность, атмосферные осадки и т. п.) (п. 7.4.11 ПУЭ).

Таблица 37

Первая цифра-защита от проникновения и попадания посторонних тел	Вторая цифра - защита от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	IP01	-	-	-	-	-	-	-
1	IP10	IP11	IP12	IP13	-	-	-	-	-
2	IP20	IP21	IP22	IP23	-	-	-	-	-
3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34	-	-	-	-
4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	-	-	-	-
5	-	-	-	-	IP54	IP55	IP56	-	-
6	-	-	-	-	-	IP65	IP66	IP67	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	IP68

Таблица 38

Первая цифра	Степень защиты изделия от попадания внутрь твердых посторонних тел	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки, например, руки и от проникновения твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от твердых тел размером более 12 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и от проникновения твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от твердых тел размером более 2,5 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки диаметром или толщиной более 2,5 мм и от проникновения твердых тел размером более 2,5 мм
4	Защита от твердых тел размером более 1,0 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и от проникновения твердых тел размером более 1,0 мм
5	Защита от пыли	Проникновение пыли внутрь оболочки не предотвращено полностью. Однако пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Примечания: 1. Оболочка изделий со степенью защиты, соответствующей первым цифрам 1-4, не допускает проникновения твердых тел правильной и неправильной формы размером, указанным в графе "Краткое описание", если размеры тела в трех взаимно перпендикулярных направлениях превышают указанные

размеры.

2. Текст, приведенный в графе "Краткое описание", не должен быть применен для определения степени защиты.

3. Возможность применения степеней защиты 3 и 4 по первой цифре обозначения для изделий с отверстиями для слива конденсата и (или) вентиляционными отверстиями устанавливается в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов.

Таблица 39

Вторая цифра	Степень защиты изделия от попадания воды	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от капель воды	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от капель воды при наклоне до 15°	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие при наклоне его оболочки на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от дождя	Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного действия на изделие
4	Защита от брызг	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного действия на изделие
5	Защита от водяных струй	Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного действия на изделие
6	Защита от волн воды	Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду	Вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных давлении и времени в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Защита при длительном погружении в воду	Изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем. Примечание. Для некоторых типов изделий допускается проникновение воды внутрь оболочки, но без нанесения вреда изделию

Примечание. Текст, приведенный в графе "Краткое описание", не должен применяться для определения степени защиты.

В случае необходимости допускается дополнительной прописной буквой латинского алфавита указывать в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов дополнительные данные.

Буквы S, M, или W должны использоваться только со следующими значениями:

S - испытано на проникновение воды, когда изделие не работает (например, неподвижная работа);

M - испытано на проникновение воды, когда изделие работает (например, вращающаяся машина);

W (следует сразу после IP) - изделие с таким обозначением предусмотрено для использования в особых климатических условиях при осуществлении дополнительной защиты конструкции изделия или в процессе эксплуатации.

Отсутствие дополнительных букв означает, что изделие соответствует данной степени защиты во всех нормальных условиях работы.

Обозначение степени защиты должно наноситься на оболочку изделия или на табличку с маркировочными данными и устанавливаться в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов. В этих же нормативных документах должен

устанавливаться способ маркировки, когда одна часть оболочки имеет степень защиты, отличную от другой части.

### **Классификация пожароопасных зон**

Класс пожароопасной зоны определяется технологами вместе с электриками проектной или эксплуатационной организации. Классы пожароопасных зон характерных производств должны содержаться в нормах технологического проектирования или в отраслевых перечнях производств по взрывопожароопасности.

Классификация пожароопасных зон приводится в гл. 7.4 ПУЭ и представлена в табл.40

Таблица 40

Класс пожароопасной зоны	Характеристика пожароопасной зоны
П- I	Пространство в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С (см. п. 7.3.12 ПУЭ)
П- II	Пространство в помещениях, в которых имеется горючая пыль или волокна с нижним концентрационным пределом распространения пламени более 65 г/м <sup>3</sup> к объему воздуха (см. п. 7.3.17 ПУЭ)
П- II а	Пространство в помещениях, в которых обращаются твердые или волокнистые, не переходящие во взвешенное состояние, горючие вещества, материалы
П- III	Пространство вне помещений, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые, в том числе и волокнистые, горючие материалы

### **Выбор электрооборудования для пожароопасных зон**

#### **Электропроводки и кабельные линии**

В пожароопасных зонах для электропроводок рекомендуется применять провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами, не распространяющие горение, сертифицированные по пожарной безопасности и имеющие предел распространения горения при групповой прокладке ПРГП1. Провода и кабели с полиэтиленовой изоляцией и оболочками запрещены к применению. Изоляция проводников должна быть рассчитана на напряжение не ниже 660 В.

Допустимые способы прокладки проводов и кабелей и дополнительные требования к электропроводкам в пожароопасных зонах определяются по гл. 7.4 ПУЭ (область применения некоторых из них приводится в табл.41), при этом кабельная линия и электропроводка должны быть не распространяющими горение.

Требованию по нераспространению горения отвечают кабели и провода, которые прошли испытания при групповой прокладке по категории А (по ГОСТ 12176). В основном это кабели с оболочками из ПВХ, в которые добавлены различного рода антипирены. Марки этих кабелей имеют индекс "нг" (например, АВВГнг, КВВГнг, ТПВнг). Если кабельные изделия не отвечают требованию по нераспространению горения, то они должны быть защищены сертифицированными огнезащитными кабельными покрытиями (ОКП) или

использоваться в электромонтажной арматуре (трубах, коробах и т. п.).

**Таблица 41**

Вид прокладки	Способ выполнения	Провода	Кабели
Открытая	Непосредственно по несгораемым конструкциям и поверхностям	АТПРФ	ААГ, ААБнлГ, АВВГнг, АВРГнг, АНРГнг,
	На изоляторах	АПВ, АПРВ	-
	На тросе	-	АВВГнг, АВРГнг
	В стальных трубах	АПРВ, АПВ	-
	В коробах	АПВ, АПРВ	ААШв, ААГ, АВВГ, АНРГ, АВРГ
	На эстакадах (металлоконструкции, трубы, лотки и т. п.)		АНРГ, АВРГ, АВВБГ, АНРБГ, АВРБГ, АВВГ
Скрытая	В стальных трубах	АПРТо, АПВ АПРВ	-

Примечания: 1. При наличии специальных условий и требований вместо алюминиевых могут применяться провода и кабели с медными жилами аналогичной марки.

2. Применение кабелей со свинцовой оболочкой должно быть ограничено и определяться требованиями окружающей среды (например, химические цеха со средами, вредно влияющими на другие оболочки кабеля).

3. Суммарная площадь сечений кабелей (проводов) должна составлять не менее 30 % поперечного сечения короба.

Соединительные и ответвительные коробки, применяемые в электропроводках в пожароопасных зонах любого класса, должны иметь степень защиты оболочки не менее IP 43. Они должны изготавливаться из стали или другого прочного материала. Пластмассовые части, кроме применяемых в групповой сети освещения, должны быть изготовлены из трудногорючей пластмассы.

Высокую пожарную опасность в пожароопасных зонах представляют частицы металла, образующиеся при КЗ в проводах.

Возможность загорания изоляции проводов при ухудшении их изоляционных свойств в трехпроводных сетях с нулевым защитным проводником может быть снижена с помощью устройств защитного отключения, позволяющих отключать поврежденный участок сети на стадии образования малых (непжароопасных) токов утечки. Применение УЗО в данном случае позволит снизить возможность образования зажигающих частиц при аварийных режимах в проводах и электрооборудовании в пожароопасных зонах.

Использование наряду с рабочим нулевым проводом дополнительного нулевого защитного проводника хотя и повышает надежность защиты человека от поражения электрическим током, в то же время значительно увеличивает вероятность однофазного короткого замыкания в электрических сетях и электрооборудовании без применения УЗО.

Расстояние от кабелей и защищенных изолированных проводов, прокладываемых открыто до мест открытого хранения горючих веществ, должно быть не менее 1 м.

Расстояние от ВЛ до пожароопасных зон, указанных в табл. 42, должно быть не менее указанных в табл 43 с учетом высоты подвеса проводов и расчетной (для данного района) скорости ветра. Табл 43 подготовлена по результатам научных исследований, проведенных во ВНИИПО.

Таблица 42

Склады	Вместимость, площадь
Каменного угля, торфа, грубых кормов (сена, соломы), льна, конопли, хлопка, зерна	Более 1000 т
Лесоматериалов, дров, щепы, опилок	Более 1000 м <sup>3</sup>
Горючих жидкостей	Более 3000 м <sup>3</sup>
Готовой продукции и оборудования в сгораемой упаковке	Более 1 га

Таблица 43

Высота подвеса верхнего провода ВЛ от уровня земли, м	Наименьшее расстояние, м, при расчетной скорости ветра, м/с (районе по ветру)						
	16(I)	18(II)	21(III)	24(IV)	27(V)	30(VI)	33(VII)
До 7	17	19	27	31	36	41	46
7,5	18	20	31	33	38	43	48
8	19	21	35	35	40	45	50
9	20,5	23	37	37	43	49	53
10	22	24	40	40	46	53	57

### Электродвигатели

В пожароопасных зонах любого класса следует применять электродвигатели с классом напряжения до 10 кВ при условии, что они имеют степень защиты оболочки не менее указанной в табл. 44.

Таблица 44

Вид установки и условия работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Стационарно установленные машины, искрящие или с не искрящими частями по условиям работы	IP44	IP54 *	IP44	IP 44
Стационарно установленные машины, не искрящие и без искрящих частей по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP 44
Машины с частями, искрящими и не искрящими по условиям работы, установленные на передвижных механизмах и установках (краны, тельферы, электротележки и т. п.)	IP44	IP54 *	IP44	IP 44

\* До освоения электропромышленностью машин со степенью защиты IP 54 допускается, при подтверждении многолетней безаварийной эксплуатации, применять электрические машины со степенью защиты IP 44.

Дополнительные требования к выбору и применению электрических двигателей в пожароопасных зонах изложены в гл. 7.4 ПУЭ, а область применения и некоторые параметры электрических двигателей, используемых в проектной и эксплуатационной практике, приводятся в табл.45.

Для целей электропривода чаще всего применяются асинхронные электродвигатели серий 4А, 4АМ, АИ и АИР.

Серия 4А является массовой серией асинхронных двигателей и охватывает диапазон номинальных мощностей от 0,06 до 400 кВт с синхронной скоростью вращения от 3000 до 500 об/мин. Серия включает основное исполнение, ряд модификаций и специализированные исполнения.

К электрическим модификациям серии 4А отнесены асинхронные электродвигатели с

повышенным номинальным скольжением (4АС), многоскоростные, электродвигатели с частотой питания 60 Гц.

К конструктивным модификациям отнесены асинхронные двигатели с фазным ротором (4АК, 4АНК), малошумные, со встроенным электромагнитным тормозом, встраиваемые (4АВ), со встроенной температурной защитой, для моноблочных насосов.

Модификации исполнений с учетом условий окружающей среды - это асинхронные двигатели тропического исполнения, химически стойкие, сельскохозяйственного, влаго- и морозостойкого, пылезащищенного и рудничного исполнений.

К специализированным исполнениям асинхронных двигателей серии 4А отнесены высокочастотные двигатели, двигатели привода лифтов, частотно-управляемые и двигатели для привода деревообрабатывающих станков.

Электродвигатели основного исполнения являются трехфазными с короткозамкнутым ротором, имеют степень защиты IP 44 или IP 23.

Двигатели серии 4АМ являются модернизацией двигателей серии 4А. По номинальным значениям параметров, климатическим факторам окружающей среды, условиям эксплуатации и другим показателям они соответствуют асинхронным двигателям серии 4А и имеют степень защиты IP 44.

Двигатели серии АИ являются новой унифицированной серией асинхронных двигателей и должны полностью заменить асинхронные двигатели серий 4А и 4АМ. Серия имеет шкалу мощностей, аналогичную серии 4А, от 0,025 до 400 кВт, степень защиты IP 44 (IP 54) и IP 23 и синхронную частоту вращения от 3000 до 750 об/мин.

Освоен выпуск асинхронных двигателей серии АИР основного исполнения, мощностью от 0,37 до 30 кВт и степенью защиты IP 44.

Серии асинхронных двигателей общего назначения А2 и АО2 в настоящее время сняты с производства, но в эксплуатации еще находится несколько миллионов таких двигателей мощностью от 0,6 до 100 кВт и степенью защиты оболочки IP 44, IP 23, с синхронной скоростью вращения от 3000 до 500 об/мин.

Примеры условных обозначений асинхронных двигателей серий 4А, 4АМ, АИР, А2 и АО2 приведены в табл. 45

Таблица 45

Серия и типоразмер двигателя	Мощность, кВт	$U_n$ , В	Степень защиты оболочки
4АА50А2У3 до 4А355М2У3	0,09 до 315	220, 380,	IP 44
4АН16054У3 до 4АН355М4У3	18,5 до 400	220/380, 380/660,	IP 23
4ААМ50А4У3 до 4АМ250М4У3	0,06 до 90	660	IP 44

АИР71А4 до АИР180М4	0,55 до 30		IP 44
А2-01-2УЗ до А2-92-4УЗ	17 до 100		IP 23
АОЛ2-21-6УЗ до АО2-92-2УЗ	0,6 до 100		IP 44

Примечания: 1. Все виды двигателей, указанные в таблице, имеют синхронную скорость вращения 1500 об/мин.

2. В серии двигателей 4А принята следующая система обозначений:

4А X X X X X X X  
 1 2 3 4 5 6 7 8

где 1 - название серии (4А); 2 - исполнение АД по способу защиты: буква "Н" - исполнение IP 23, отсутствие буквы обозначает исполнение IP 44; 3 - исполнение АД по материалу станины и щитов: А - станина и щиты алюминиевые; X - станина алюминиевая, щиты чугунные (или обратное сочетание материалов); отсутствие буквы - станина и щиты чугунные или стальные; 4 - высота оси вращения, мм (две или три цифры); 5 - условный размер по длине станины, буква S, M или L (меньший, средний или больший); 6 - длина сердечника: А - меньшая, В - большая при условии сохранения установочного размера; отсутствие буквы означает, что при определенном установочном размере выполняется сердечник только одной длины; 7 - число полюсов АД (одна или две цифры); 8 - климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150

### Аппараты управления и приборы

В пожароопасных зонах электрические аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов могут применяться, если они имеют степени защиты оболочки не менее указанных в табл.46 (табл. 7.4.3 ПУЭ), при этом необходимо учитывать также и требования пп.7.4.21-7.4.25 ПУЭ.

Электроустановки запираемых складских помещений с пожароопасными зонами любого класса должны иметь аппараты для отключения силовых и осветительных сетей извне, независимо от наличия отключающих аппаратов внутри помещений. Отключающие аппараты должны быть установлены в ящике из несгораемого материала на несгораемом основании или на отдельной опоре, иметь приспособления для их опломбирования и должны быть доступны для обслуживания в любое время суток. При этом электропроводки систем пожарной сигнализации и пожаротушения, а также силовые сети электрооборудования, обеспечивающего требуемые климатические условия, отключаться не должны, и их рекомендуется прокладывать вне пожароопасных зон.

Таблица 46

Вид установок и условия работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Установленные стационарно на передвижных механизмах (краны, тельферы, электротележки и т. п.), искрящие по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP 44
Установленные стационарно или на передвижных механизмах, не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP 44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов. Коробки сборок зажимов силовых и вторичных цепей	IP44	IP54 * IP44 **	IP 44	IP 44

\*При установке в них аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы. До освоения электропромышленностью шкафов со степенью защиты оболочки IP 54 допускается применять их со степенью защиты IP 44, если это подтверждается многолетней безаварийной эксплуатацией.

\*\*При установке в них аппаратов и приборов, не искрящих по условиям работы.

В пожароопасных зонах складских помещений, а также в зданиях книгохранилищ

(кроме специальных помещений, например буфетов) применение электронагревательных приборов запрещается.

### Светильники

В пожароопасных зонах должны применяться светильники, имеющие степень защиты оболочки не менее указанной в табл.47 (см. также п.п. 7.4.32-7.4.35 ПУЭ, прил. 2) и прошедшие сертификационные испытания на пожарную безопасность по НПБ электроизоляционных и конструкционных материалов;

комплектующих элементов светильников и их узлов;

конструкции светильников в целом в характерных пожароопасных режимах.

Таблица 47

Источники света, устанавливаемые в светильниках	Степень защиты светильников для пожароопасной зоны класса			
	П - I	П - II	П- IIa , а также П- II при наличии местных нижних отсосов и общеобменной вентиляции	П- III
Лампы накаливания	IP53	IP53	2'3	2'3
Разрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ)	IP53	IP53	IP23	IP 23
Люминесцентные лампы	5'3	5'3	IP23	IP 23

Конструкция светильников с разрядными лампами высокого давления (РЛВД) типов ртутных ДРЛ, металлогалогенных ДРИ и натриевых ДНаТ должна исключать выпадение из них ламп.

Светильники с лампами накаливания должны иметь сплошное силикатное стекло, защищающее лампу. Они не должны иметь отражателей и рассеивателей из горючих материалов, температура конструктивных элементов светильников не должна быть выше критической по НПБ.

В пожароопасных зонах любого класса складских помещений светильники с люминесцентными лампами не должны иметь отражателей, рассеивателей и защитных решеток из горючих материалов.

Электропроводка внутри светильников с лампами накаливания и РЛВД до места присоединения внешних проводников должна выполняться нагревостойкими проводами.

Переносные светильники в пожароопасных зонах любого класса должны иметь степень защиты не менее IP 54; стеклянный колпак светильника должен быть защищен металлической сеткой.

Независимые ПРА для светильников с лампами РЛВД в пожароопасных зонах всех классов заключаются в оболочки со степенью защиты не ниже IP 44.

Многие типы светильников имеют открытые лампы, не защищенные от окружающей среды, или лампы, закрытые неуплотненными светопропускающими оболочками (рассеивателями). При этом корпуса светильников с расположенными в них электрическими контактами могут иметь незащищенное, пылезащищенное или пыленепроницаемое исполнение. В связи с этим ГОСТ 13828-74 в обозначении защиты светильников с неизолированными от окружающей среды лампами исключает буквы IP (см. табл.37) и вводит штрих у цифры (табл.47).

Дополнительные требования к светильникам и электрическому освещению в целом приводятся в разд. 6 ПУЭ.

### **Заземление и зануление электроустановок в пожароопасных зонах**

Общие понятия и определения, касающиеся устройств заземления и зануления, приведены в 1.6 .

Электробезопасность в пожароопасных зонах должна обеспечиваться выполнением требований гл. 7.1 ПУЭ к заземлению и занулению электроустановок.

### **Аппараты защиты в электроустановках**

**Аппаратом защиты** называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при ненормальных режимах (например, коротких замыканиях, перегрузках). Особую значимость аппараты защиты приобретают для защиты электрических сетей, машин и установок во взрывоопасных зонах. Так, в п. 7.3.94 ПУЭ указывается, что проводники силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В - I , В - Ia , В - II и В- IIa , а должны быть защищены от перегрузок и КЗ, а их сечения должны выбираться в соответствии с гл. 3.1 ПУЭ, но быть не менее сечения, принятого по расчетному току. Во взрывоопасных зонах классов В - Ib и В - Ig защита проводов и кабелей и выбор их сечений должны производиться как для невзрывоопасных установок.

Выбор и применение аппаратов защиты во взрывоопасных зонах регламентируется требованиями гл.7.3, 7.4 и 3.1 ПУЭ.

Наиболее часто применяются такие аппараты защиты, как плавкие предохранители, воздушные автоматические выключатели (автоматы), реле и устройства защитного отключения (УЗО).

### **Плавкие предохранители**

**Плавким предохранителем** называется устройство, которое при токе, превышающем допустимое значение, расплавляет плавкий элемент вставки, в результате чего размыкается электрическая цепь.

Плавкий предохранитель состоит из плавкой вставки, поддерживающего ее

контактного устройства и корпуса (патрона).

Плавкие предохранители характеризуются следующими параметрами.

**Номинальное напряжение**  $U_{н.пр.}$  - напряжение, указанное на предохранителе и соответствующее наибольшему напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя.

**Номинальный ток предохранителя**  $I_{н.пр.}$  - ток, указанный на предохранителе и равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок. Номинальный ток предохранителя всегда должен быть больше или равен номинальному току плавкой вставки, т.е.  $I_{н.пр.} \geq I_{н.вст.}$

**Номинальный ток плавкой вставки**  $I_{н.вст.}$  - ток, указанный на вставке, для которого она предназначена, при длительной работе.

**Предельный ток отключения при данном напряжении**  $I_{пр.пр.}$  - наибольшее значение тока КЗ сети, при котором гарантируется надежная работа предохранителей, т. е. дуга гасится без каких-либо повреждений корпуса.

**Защитная (токовременная) характеристика предохранителя** - это зависимость времени полного отключения  $\tau_{откл}$  от отношения ожидаемого тока в цепи (тока КЗ или перегрузки) к номинальному току плавкой вставки, т. е.

$$\tau_{откл} = f(I / I_{н.вст.}).$$

Технические характеристики ряда типов плавких предохранителей приводятся в табл.48

Таблица 48

Тип	Номинальный ток предохранителя W А	Номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вст.}$ , А	Предельный ток отключения $I_{пр.пр.}$ , А, при напряжении, В		
			220	380	500
ПР-2	15	6, 10 и 15	1200	800	700
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	5500	4500	3500
	100	60, 80 и 100	11000	11000	10000
	200	100, 125, 160 и 200	11000	11000	10000
	350	200, 225, 260, 300, 350	11000	13000	11000
	600	350, 430, 500, 600	15000	23000	20000
НПН-15	15	6, 10 и 15		10000	
НПН-60М	60	20, 25, 35, 45 и 60	Нет сведений	10000	Нет сведений
НПН2-60	63	6, 10, 16, 20, 25, 31, 5, 40 и 63		10000	
ПН-2	100	31, 5, 40, 50, 63, 80, 100		100000	50000
	250	80, 100, 125, 160, 200 и 250	Нет сведений	100000	40000
	400	200, 250, 315, 355 и 400		40000	25000
	630	315, 400, 500 и 630		25000	10000
ПНБ-2	40	40			
	60	60			
	100	100	Нет сведений	Нет сведений	100000
	150	150			
	200	200			

	300	250, 300			
	400	400			
	600	600			
Ц-27	25	6, 10, 15, 20 и 25	Нет сведений	600	Нет сведений
Ц-33	60	15, 20, 25, 35, 60		1000	
ПП24	25	2, 4, 6,3, 10, 16, 20, 25	100000		
ПП17	1000	500, 630, 800, 1000	120000		
ПТ23	16	6, 10, 16	10000		
ПТ26	31,5	20, 25, 31, 5	10000		
ПР23	16	6, 3, 10, 15	10000	Нет сведений	
ПР26	31,5	20, 25, 31, 5	10000		

### Автоматические выключатели (автоматы)

Ниже рассматриваются небыстродействующие автоматы с собственным временем отключения не менее 10 мс, получившие большое распространение в проектной и эксплуатационной практике.

Основным узлом, обеспечивающим автоматическое срабатывание автомата при ненормальных режимах, является расцепитель.

В зависимости от встраиваемых расцепителей максимального тока автоматы изготавливаются с электромагнитным расцепителем М, тепловым расцепителем Т и комбинированным расцепителем МТ (т. е. с электромагнитным и тепловым).

Автоматы характеризуются следующими параметрами.

**Номинальное напряжение  $U_{н.а}$**  - напряжение, соответствующее наибольшему номинальному напряжению сетей, в которых разрешается применять данный автомат.

**Номинальный ток  $I_{н.а}$**  - наибольший ток, на который рассчитаны токоведущие и контактные части автомата, равный наибольшему из номинальных токов расцепителя.

**Номинальный ток расцепителя  $I_{н.эл.м}$ ,  $I_{н.тепл}$  или  $I_{н.комб}$**  - наибольший ток, на который рассчитан расцепитель автомата, равный наибольшему из номинальных токов расцепителя. При этом токе расцепитель не срабатывает.

**Ток уставки теплового расцепителя** - ток, на который отрегулирован тепловой расцепитель без срабатывания в длительном режиме работы. Например:

для автоматов с регулировкой тока уставки

$$I_{уст.тепл} = (0,6 - 1) I_{н.тепл}$$

для автоматов без регулировки тока уставки  $I_{уст.тепл} = I_{н.тепл}$

**Ток срабатывания (уставки) расцепителя  $I_{ср.эл.м}$ ,  $I_{ср.тепл}$**  - наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель автомата. Например:

для автомата с электромагнитным или комбинированным расцепителем

$$I_{ср.эл.м} = (7 - 15) I_{н.эл.м}$$

для автоматов с тепловым расцепителем без регулировки тока уставки

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

для автоматов с тепловым расцепителем с регулировкой тока уставки

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

**Предельный ток отключения при данном напряжении  $I_{\text{пр.а}}$**  - наибольшее значение тока КЗ сети, при котором гарантируется надежная работа автомата.

**Защитная характеристика автомата** - это зависимость полного времени отключения цепи от отношения тока в расцепителе к номинальному току расцепителя:

$$\tau_{\text{откл}} = f\left(\frac{I}{I_{\text{н.тепл}}}\right).$$

Технические данные ряда автоматических выключателей приводятся в табл. 49-53.

Таблица 43

Номинальный ток расцепителя, А, автомата АП-50-ЗМТ	Расцепитель			Допустимое значение тока КЗ при 380 В и $\cos \varphi = 0,5 I_{\text{пр.а}}$ , А	Полное время отключения, с
	Тепловой		Электромагнитный, с током мгновенного срабатывания (отсечки) $I_{\text{ср.эл.м}}$ , А		
	Время срабатывания при перегрузках				
	$1,35 I_{\text{н.тепл}}$	$6 I_{\text{н.тепл}}$			
1,6	Не более 30 мин	От 1 до 10 с	11	300	0,017
2,5			17,5	400	
4			28	600	
6,4			45	800	
10			70	2000	
16			110	2000	
25			175	2000	
40			280	2000	
50			350	2000	

Таблица 50

Выключатель		Число полюсов	$I_{\text{н.а}}$	Токи расцепителя, А			$I_{\text{пр.а}}$ , А, при напряжении, В		
Тип	Модификация			$I_{\text{н.тепл}}$	$I_{\text{н.эл.м}}$	$I_{\text{ср.эл.м}}$	220	350	500
A3161	Отсутствует	1	50	15	-	-	2500	2000	-
A3162				20	-	-	3000	2500	-
A3163		2	50	25	-	-	3500	3000	-
				30	-	-	4000	3500	-
		3	50	40	-	-	4500	4000	-
				50	-	-	5000	4500	-
							(для A3163)	(для A3163)	
A3114	A3113/1	2	200	15	15	150	4000	3200	2500
				20	20	200	5000	4000	3200
				25	25	250	6500	5000	4000
				30	30	300	9000	7000	6000
	A4114/1	3		40	40	400	10000	8500	7000
				50	50	500	12000	10000	8000
				60	60	600	13000	11000	9000
				80	80	800	14000	11500	9500
			100	100	1000	15000	12000	10000	
A3120	A3123	2	100	15	15	430	7000	5500	4000
				20	20	430	7500	6000	5000
				25	25	600	11000	9000	7000
				30	30	600	12000	10000	8000
	A3124	3		40	40	800	15000	13000	10000
				50	50	800	22000	19000	14000
				60	60	800	23000	20000	15000
				80	80	800	26000	22000	16000

				100	100	800	30000	23000	18000
A3130	A3133	2	200	120	120	840	20000	19000	14000
	A3334	3		150	150	1050	30000	23000	18000
A3140	A3143	2	600	200	200	1400	35000	30000	25000
				250	250	1750	35000	32000	32000
	300	300		2100	40000	35000	35000		
	400	400		2800	40000	35000	35000		
A3144	3		500	500	3500	50000	50000	40000	
			600	600	4200	50000	50000	40000	

Таблица 51

Серия	Тип (по исполнению)	Тип расцепителя	Номинальный ток автомата $I_{н.а}$ , А	Номинальные токи расцепителя $I_{н.тепл}$ , $I_{н.эл.м}$ , А	Ток срабатывания теплового расцепителя $I_{ср.тепл}$ , А	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{н.эл.м}$ , А	Предельная отключающая способность автомата $I_{пр.а}$ , А
AE1000	AE1031-11 AE1031-21 AE1031-31 AE1031-41 AE1031-51	Комбинированный	25	6; 10; 16; 25	$1,5 I_{н.расц}$	$(12-18) I_{н.расц}$	2000
	AE1031-12 AE1031-22 AE1031-32 AE1031-42 AE1031-52	Тепловой	25	6; 10; 16; 25	$1,5 I_{н.расц}$	-	1000
	AE1031-13 AE1031-23 AE1031-33 AE1031-43 AE1031-53	Электромагнитный	25	6; 10; 16; 25	-	$(12-18) I_{н.расц}$	1000
AE2000	AE2033	Электромагнитный	25	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	$1,25 I_{н.расц}$	$3 I_{н.расц}$ или $12 I_{н.расц}$	3000
	AE2036	Комбинированный	25	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	$1,25 I_{н.расц}$	$3 I_{н.расц}$ или $12 I_{н.расц}$	3000
	AE2053	Электромагнитный	100	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	-	$3 I_{н.расц}$ или $12 I_{н.расц}$	6000
	AE2056	Комбинированный	100	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	$1,25 I_{н.расц}$	$3 I_{н.расц}$ или $12 I_{н.расц}$	6000

Таблица 52

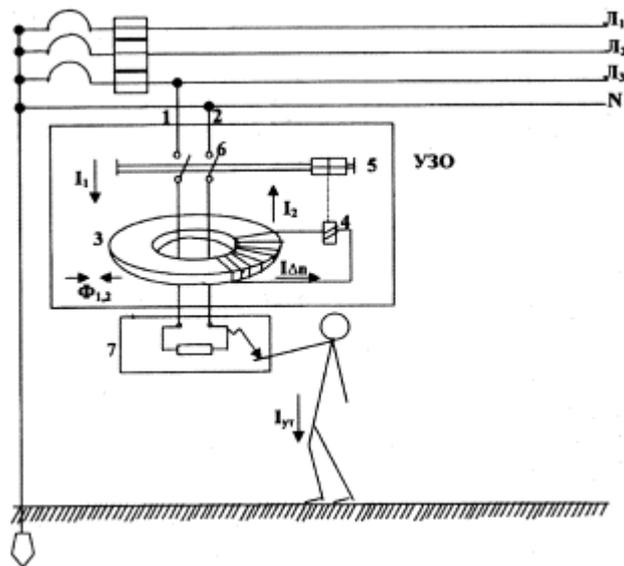
Номинальный ток, А, автомата А3713Б	Номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Номинальное напряжение, В	Ток срабатывания теплового расцепителя, кратный $I_n$	Уставка по току мгновенного срабатывания, кратная $I_n$	Предельная коммутационная способность, кА
32	16, 20, 25, 32	~660	1,25	3, 5, 7, 10	14
40	20, 25, 32, 40				18
80	40, 50, 63, 80				35
160	80, 100, 125, 160				40

32	16, 20, 25, 32	~380	1,25	3, 5, 7, 10	14
40	20, 25, 32, 40				18
80	40, 50, 63, 80				35
160	80, 100, 125, 160				

Таблица 53

Тип и номинальный ток, А, автоматов серии ВА	Номинальный ток расцепителей максимального тока, А	Номинальное напряжение, В	Число полюсов	Ток срабатывания теплового расцепителя кратный $I_n$	Уставка по току мгновенного срабатывания кратная $I_n$	Предельная коммутационная способность, кА при напряжении 380 В
<u>ВА 51 - 21</u> 25	6,3; 8; 10; 12,5; 16, 20; 25	~380 ~660	2, 3	1,35	10, 0	3,8
<u>ВА16</u> 25	6,3, 10; 16; 20, 25	~380	1	1, 35	14	
<u>ВА14М</u> 32	6, 8, 10, 16	~380 -110	1, 2, 3, 2	1,35	10 16	
<u>ВА 51Г - 25</u> 25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,8; 2,0; 2,5 ; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8;10; 12,5; 16; 20; 25	~380 ~660	2, 3	1,20	14,0	3,0
<u>ВА 51 - 31 - 1</u> 100,160	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20, 25, 31 ; 5 ; 40 ; 50; 63; 80; 100	~380 -110	1	1,35	3; 7; 10, 3; 7	8,0 8,0
<u>ВА 51 - 31</u> 100,160	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31 ; 5; 40; 50; 63; 80; 100	~660 ~380 -220	2,3	1,35	3; 7; 10 3; 7; 10 3; 7	5,0 10,0 20,0
<u>ВА 51Г - 31</u> 100,160	16; 25; 31, 5; 40 50; 63; 80; 100	~660 ~380	3	1,2	14	4,0 7,0
<u>ВА 52 - 31</u> 100,160	16; 20; 25 ; 31,5; 40; 50; 63 ; 80; 100	~660 ~380	3	1,35	3 ; 7 ; 10	12,0 25,0
<u>ВА 52Г - 31</u> 100,160	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63, 80, 100	~660 ~380	3	1,2	14	10,0 25,0
<u>ВА 51 - 33</u> 100,160	80; 100; 125 ; 160	~660 ~380	2,3	1,25	10	9,0 12,5
<u>ВА 51Г - 33</u> 100,160	80; 100; 125 ; 160	~660 ~380	3	1,2	14	9,0 12,5
<u>ВА 52 - 33</u> 100,160	80; 100; 125 ; 160	~660 ~380	3	1,25	10	12,0 35,0
<u>ВА 52Г - 33</u> 100,160	80; 100; 125; 160	~660 ~380	3	1,2	14	12,0 35,0

Примечание ~ Переменный ток: - постоянный ток.



**Рис. 36. Схема электроустановки с УЗО:**

1,2- прямой и обратный проводники; 3 - дифференциальный трансформатор тока; 4 - магнитоэлектрическая защелка; 5 - механизм расцепителя; 6 - контактная система; 7 - нагрузка; Л1, Л2, Л3 - линейные проводники; N - рабочий и защитный нейтральный (нулевой) проводник

Методика выбора аппаратов защиты и оценка соответствия их номинальных параметров условиям надежности защиты электрических сетей и установок от токов перегрузки и КЗ приводится в работе [Черкасов В.Н., Шаровар Ф.И. Пожарная

### **Устройство защитного отключения (УЗО)**

УЗО предназначено для обеспечения электрической и пожарной безопасности в бытовых и промышленных электроустановках.

Конструкция УЗО обеспечивает быстрое отключение защищаемой электроустановки от сети при протекании тока через тело человека. Если ток утечки на землю возникает в результате разрушения изоляции, то УЗО можно рассматривать и как устройство для обеспечения пожарной безопасности.

### **Элементы конструкции и принцип действия УЗО**

Основными элементами конструкции УЗО (рис.36) являются: дифференциальный трансформатор тока 3 ; чувствительный элемент - магнитоэлектрическое реле-защелка 4; механизм расцепителя 5 с контактной системой 6 .

Функционально УЗО определяется как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке (рис.36)

В нормальном режиме при отсутствии дифференциального тока (тока утечки) -

рабочие токи нагрузки  $I$  в прямом и обратном проводниках дифференциального трансформатора 3 равны по величине и направлены навстречу друг другу. Соответственно эти токи создают равные по величине встречнонаправленные магнитные потоки  $\Phi_1$ , и  $\Phi_2$ , в результате чего ток во вторичной обмотке равен нулю и не вызывает срабатывания чувствительного элемента - магнитоэлектрической защелки 4.

При возникновении дифференциального тока  $I_{\Delta n}$ , например, при пробое изоляции на корпус заземленного электроприемника, при прикосновении человека к открытым токопроводящим частям баланс токов в прямом и обратном проводниках, а следовательно, и магнитных потоков нарушается, и во вторичной обмотке появляется трансформированный дифференциальный ток небаланса, который вызывает срабатывание защелки 4. Она действует, в свою очередь, на механизм расцепителя 5, а он приводит в действие контактную систему 6, и защищаемая цепь обесточивается.

Конструкции УЗО разделяются на две категории:

УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания (электромеханические). Источником энергии, необходимой для функционирования (выполнения операции отключения), является сам сигнал - дифференциальный ток, на который оно реагирует;

УЗО, функционально зависящие от напряжения питания (электронные). Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Область применения устройств, функционально зависящих от напряжения питания, ограничена в силу их меньшей надежности, подверженности воздействию внешних факторов и др.

Расширение электрических сетей с нулевым защитным проводником требует обязательного применения УЗО в целях защиты электропроводок и электрооборудования от возгорания. Использование нулевого защитного проводника в сетях зданий без УЗО повышает их пожарную опасность вследствие возможности возникновения короткого замыкания фазного провода на заземляющий проводник электрической сети или внешние заземленные поверхности электрооборудования с оболочкой класса I.

### **Термины и определения**

Согласно ГОСТ Р 50807-95 нормируются следующие параметры УЗО.

**Номинальное напряжение** - указанное изготовителем действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

**Номинальный ток нагрузки** - указанное изготовителем значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

**Номинальный отключающий дифференциальный ток** - значение

дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

**Номинальный неотключающий дифференциальный ток** - наибольшее значение дифференциального тока, которое не вызывает отключения УЗО при заданных условиях эксплуатации.

**Сверхток** - ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока.

**Предельное значение неотключающего сверхтока** - минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух- и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО.

**Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность)** - действующее значение ожидаемого тока, который УЗО способно включать, пропускать в течение времени своего размыкания и отключать при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности

**Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току** - действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое УЗО способно включать, пропускать в течение своего размыкания и отключать при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

**Номинальный условный ток короткого замыкания (ток термической стойкости)** - указанное изготовителем действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий - плавкой вставкой с номинальным током, равным току нагрузки УЗО.

**Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания** - действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

**Время отключения (время срабатывания)** - промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом завершения срабатывания данного устройства до полного гашения дуги.

### **Параметры УЗО**

Конкретная модификация УЗО выбирается на основе электротехнического расчета нормальных и аварийных режимов работы электроустановки.

Технические требования и параметры УЗО на основе ГОСТ Р 50807-95 и НПБ приведены в табл.54.

Таблица 54

Технический параметр	Значение параметра
Номинальное напряжение $U_n$ , В	220, 380 *
Номинальный ток нагрузки $I_n$ , А	6, 16, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 125, 200 *
Номинальный отключающий дифференциальный ток (ток утечки) $I_{\Delta n}$ , мА	10, 30, 100, 300, 500 *
Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n o}$ , мА	$0,5 I_{\Delta n}$
Предельное значение неотключающего сверхтока $I_{nm}$ , А	$6 I_n$
Номинальная включающая и отключающая (коммутационная) способность $I_m$ , А	$10 I_n$ или 500 А (выбирается большее значение)
Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta m}$ , А	$10 I_n$ или 500 А (выбирается большее значение)
Номинальный условный ток короткого замыкания $I_{nc}$ , А	1500, 3000, 6000, 10000
Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{\Delta c}$ , А	1500, 3000, 6000, 10000
Номинальное время отключения $T_n^{**}$ , с	0,3 при $I_{\Delta n}$ , 0,15 при $2 I_{\Delta n}$ , 0,04 при $5 I_{\Delta n}$ , или при 500 А

\*В зависимости от модификации устройства.

\*\*  $T_n$  - заданы для любого рабочего тока, не превышающего номинальный.

### Выбор типа и параметров УЗО

УЗО должно отключать защищаемую часть электроустановки при появлении в ней синусоидального переменного или пульсирующего постоянного (в зависимости от модификации) тока утечки, превышающего 0,5 номинального отключающего дифференциального тока.

Уставка (номинальный дифференциальный отключающий ток) УЗО выбирается на основе критериев электробезопасности с учетом тока нагрузки. Рекомендуемые значения уставки приведены в табл.55

Таблица 55

Вид потребителя	Номинальный ток уставки УЗО в зоне защиты, мА, при токе нагрузки, А				
	16	25	40	63	80
Одиночный потребитель	10	30	30	30	30
Группа потребителей	30	30	30 (100)	100	300
На главном вводе (ВРУ, ВРЩ)	300	300	300	300	500

В ряде случаев, для определенных потребителей значение уставки задается нормативными документами.

Стандартные значения максимального времени отключения при любом рабочем токе нагрузки не должны превышать значений, приведенных в табл.55 .

Схема включения УЗО должна предусматривать установку последовательно с УЗО защитного устройства от сверхтоков (автоматический выключатель, плавкая вставка), отвечающего соответствующим стандартам. При этом номинальный ток УЗО должен быть равен или быть на ступень выше номинального тока защитного устройства от сверхтоков.

В некоторых случаях, например для одиночных потребителей электроэнергии,

целесообразно применять комбинированное УЗО, т. е. УЗО со встроенной защитой от сверхтоков и перегрузки.

В настоящее время выпускаются УЗО двухполюсные (для однофазных электроустановок) и четырехполюсные (для трехфазных электроустановок).

Некоторые виды отечественных УЗО и их параметры представлены в табл.56.

Таблица 56

Параметры	Тип устройства защитного отключения				
	УЗО-22	ВАД-11	Д-АС	М304	Астро*УЗО
Номинальное напряжение, В	220			220/380	
Частота, Гц	50	50; 60	50	50	50
Номинальный ток нагрузки, А	6,3; 10; 16; 25; 32; 40	6; 40	6; 10; 16; 25; 32	16; 25; 40; 63	
Номинальное значение дифференциального отключающего тока, мА	10; 30	10; 30; 100	10, 30, 100, 300	10; 30	10; 30; 100; 300
Максимальное время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	40	10	40	30	30
Рабочая температура, °С	От-10 до+40	От-5 до+40	От-5 до+40	От-25 до+40	От-20 до+45
Зависимость от колебаний напряжения сети	Не зависит				
Потребность в источнике питания	Требуется			Не требуется	
Тип расцепителя	Электронно-магнитный			Электромеханический	

### Селективность работы УЗО

Для обеспечения требований селективной работы нескольких УЗО в радиальных схемах электроснабжения необходимо учитывать следующие факторы.

В силу очень высокого быстродействия УЗО практически невозможно обеспечить селективность действия УЗО по току при значениях уставок 10, 30, 100 мА. В этом диапазоне уставок селективность работы УЗО может быть обеспечена благодаря применению модификаций УЗО с выдержкой времени (УЗО с индексом S), имеющих задержку срабатывания 10-20 мс.

Селективность срабатывания по току утечки на землю может быть обеспечена при применении на вводе - в качестве головного - УЗО с уставками 300, 500 мА и на отходящих линиях (группах) - УЗО с уставками 10, 30 мА.

### Требования пожарной безопасности

Конструкция УЗО должна обеспечивать его пожарную безопасность как в нормальном режиме работы, так и при возникновении неисправностей и нарушении правил эксплуатации.

При оценке пожарной опасности УЗО следует определить его показатели в соответствии с НПБ. Результат положительной оценки подтверждается сертификатом пожарной безопасности.

Показатели пожарной опасности определяют путем прямых испытаний стандартных

образцов УЗО, а также конструкционных и электроизоляционных материалов или образцов из состава деталей, комплектующих УЗО.

Конструкция УЗО должна исключать появление в процессе функциональных испытаний, а также испытаний на пожарную опасность пламени, дыма, размягчения и оплавления конструкционных материалов.

Не допускается применение УЗО для электроустановок, внезапное отключение которых может привести по технологическим причинам к возникновению ситуаций, опасных для пользователей (например, к отключению пожарной, охранной сигнализации и т. п.).

### Тепловые реле

Тепловые реле обычно применяют для защиты электродвигателей от опасного нагрева при длительных перегрузках (рабочий период не менее 30 мин).

Тепловые реле используют обычно и для защиты электродвигателей от работы на двух фазах. В этих случаях применяют два одноэлементных тепловых реле или одно двухэлементное.

Тепловые реле имеют следующие параметры.

**Номинальное напряжение реле  $U_{н.р}$**  - наибольшее из номинальных напряжений сетей, в которых допускается применять данное реле.

**Номинальный ток реле  $I_{н.р}$**  - наибольший длительный ток, который не вызывает срабатывания реле.

**Номинальный ток нагревателя  $I_{н.нагр}$**  - наибольший длительный ток, при котором реле с данным нагревателем не срабатывает (для реле со сменными нагревателями).

**Номинальный ток уставки реле (для реле с регулятором)  $I_{н.устр.р}$**  - наибольший длительный ток, который при данной настройке реле не вызывает срабатывания. Обычно  $I_{н.устр.р} = (0,6-1) I_{н.нагр}$

Т а б л и ц а 57

Пускатель			Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт, при напряжении, В			Ток уставки тепловых реле, А		
Тип	Величина	Номинальный ток, А	220	380	500	Номинальный ток, А	Нулевая уставка (номинальный ток нагревательного элемента)	Диапазон уставок
ПМЕ-222	2	25	5,5	10	10	6,25	5	3,75-6,25
						7,87	6,3	4,72-7,87
						10,0	8	6-10
						12,5	10	7,5-12,5
						15,6	12,5	9,38-15,6
						20,0	16	12-20
ПА-322	3	40	7	13	17	40	32	24-40
						56	44	33-56
ПА-	4	56	13	20	28	56	44	33-56

422 ПА- 522	5	115	23	55	55	115	104	78-115
ПА- 622	6	140	40	75	75	140	126	94-140

Примечания: 1. Нулевая уставка - уставка в нулевом положении указателя шкалы теплового реле.

2. Регулировка тока уставки реле плавная и производится регулятором уставки. Шкала регулятора тока уставки имеет по пять делений влево (минус) и вправо (плюс) от нулевой риски шкалы. Каждое деление шкалы соответствует примерно 5 % номинального тока нагревательных элементов (тока нулевой уставки) для пускателей открытого исполнения и 5,5 % - для защищенного исполнения.

3. Для магнитных пускателей серии ПА 4, 5 и 6-й величин (с тепловым реле без термокомпенсации) при температуре окружающей среды ниже +30 °С вносится поправка в пределах шкалы реле.

Таблица 58

Величина пускателя	Тип реле	Номинальный ток реле, А	Номинальный ток теплового реле, А, при +25 °С (положение регулятора уставки на нуле)	Предел регулирования номинального тока уставки
1	ТРН-8 или ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,8; 8; 10	От 0,75 $I_n$ , до 1,3 $I_n$
2	ТРН-20 или ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	От 0,74 $I_n$ , до 1,3 $I_n$
3	ТРН-32 или ТРН-40	40	16; 20; 25; 32; 40	От 0,75 $I_n$ , до 1,3 $I_n$
4	ТРП-60	60	25; 30; 40; 50; 60	От 0,75 $I_n$ , до 1,25 $I_n$
5	ТРП-150	150	50; 60; 80; 100	От 0,75 $I_n$ , до 1,25 $I_n$
6	ТРП-150	150	100; 120; 150	От 0,75 $I_n$ , до 1,25 $I_n$

Для реле с регулятором значения  $I_{н.р}$  и  $I_{н.нагр}$  соответствуют нулевому (среднему) положению поводка регулятора (току нулевой уставки).

В настоящее время применяют тепловые реле серий ТРП, ТРН, ТРА, ТРВ, ТРГ, ТРТ.

При выборе тока тепловых реле (например, для магнитных пускателей серии ПМЕ и ПА) следует руководствоваться данными табл. 57 и 58.

#### Использованные источники

1. Манойлов З.Е. Основы электробезопасности. - Л.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б.А. Князевского. - М.: Энергоатомиздат, 1999.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.: Энергия, 1999.
4. ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
5. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ Электробезопасность. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1976.
6. ГОСТ 12.1.013-78. ССБТ. Строительство. Электробезопасность. Общие требования. - М.: Изд-во стандартов, 1978.

7. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования. - М.: Изд-во стандартов, 1979.
8. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. - М.: Изд-во стандартов, 1981.
9. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения токов. - М.: Изд-во стандартов, 1982.
10. ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1975.
11. ГОСТ.12.2.020-76. ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка. - М.: Изд-во стандартов, 1976.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7). - М.: Энергия, 2000
13. Овчаренко, А.Г. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок : учебное пособие / А.Г. Овчаренко, С.Л. Раско ; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. – 111 с.
14. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
15. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М., 2000.
16. РД 153-34.0-03.702–99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.
17. ГОСТ Р 50807–95 (МЭК 755–83). Устройства защитные, управляемые дифференциальным током.