

В.К. ГРУНИН, П.В. РЫСЕВ, В.К. ФЕДОРОВ

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.К. Грунин, П.В. Рысев, В.К. Федоров

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Учебное пособие

Омск
Издательство ОмГТУ
2013

УДК
ББК

Рецензенты:

Никишкин Алексей Сергеевич, к.т.н., декан Омского института водного транспорта (филиал) ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Зирнит Денис Валерьевич, ведущий инженер ОАО «Омскпроект»

Пожарная безопасность электроустановок: учеб. пособие / В.К. Грунин, П.В. Рысев, В.К. Федоров, – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 139 с.

ISBN xxxxxxxx

В учебном пособии приведены: классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 280705.65 «Пожарная безопасность» и 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

УДК
ББК

ISBN xxxxxxxx

© ФГБОУ ВПО «Омский государственный
технический университет», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	6
Введение	7
1. Электроснабжение и пожарная опасность электроустановок	8
1.1. Общие сведения об электроснабжении и электроустановках	8
1.2 Системы заземления нейтрали	13
1.3 Общие сведения по проводам и кабелям	19
1.4 Причины возгораний и пожарная опасность электротехнических устройств	24
2 Распределение взрывоопасных смесей горючих газов и паров ЛВЖ с воздухом на категории и группы	35
3 Маркировка электрооборудования	38
3.1 Маркировка электрооборудования общего назначения	38
3.2 Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по пуэ	39
4 Нормативное определение классов пожароопасных и взрывоопасных зон	44
4.1 Классификация пожароопасных зон	44
4.2 Классификация взрывоопасных зон	45
4.3 Аналитическое обоснование размеров взрывоопасных зон	49
5 Выбор электрооборудования для пожароопасных зон	53
5.1 Электрические машины	53
5.2 Электрические аппараты и приборы	54
5.3 Распределительные устройства, трансформаторные и преобразовательные подстанции	56
5.4 Электрические светильники	57
5.5 Электропроводки, токопроводы, воздушные и кабельные линии	58
6 Выбор электрооборудования для взрывоопасных зон	61
6.1 Электрические машины	62
6.2 Электрические аппараты и приборы	62
6.3 Электрические светильники	64
6.4 Электропроводки и кабельные линии	64
7 Тепловой расчет электрических сетей	67
8 Светотехнический расчет осветительных установок	75
9 Расчет защитного заземления	77
10 Молниезащита	80
10.1 Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты	91

10.2 Защита зданий и сооружений от прямых ударов молнии	100
10.3 Защита зданий и сооружений от вторичных воздействий молнии	110
11 Защита взрывоопасных производств от разрядов статического электричества	113
11.1. Общие представления об электризации	113
11.2 Воспламеняющая способность искр статического электричества и его физиологическое воздействие на организм человека	116
11.3 Способы устранения опасности статического электричества	120
Библиографический список	135

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие общества и экономики неразрывно связано с развитием способов получения, передачи, преобразования и потребления энергии.

С начала XX века основным видом энергии стала электрическая энергия. Степень развития электроэнергетики говорит о развитости экономики, науки и техники страны. Кроме того, развитая электроэнергетическая система является необходимым условием для развития промышленности.

В настоящее время электричество настолько плотно вошло в промышленность, экономику, коммуникации и быт развитых стран, что представить себе мир без электрической энергии просто невозможно. Практически любой процесс жизнедеятельности человек электрифицирован и доля электрификации постоянно растет.

Такая популярность электрической энергии связана с ее свойствами – электричество можно получать на огромных электростанциях за тысячи километров от мест потребления, передавать по проводам, преобразовывать на подстанциях и доставлять конечному потребителю в том виде, который ему нужен – это может быть переменный ток или постоянный ток, трехфазная система или однофазная. Можно даже накапливать электричество в аккумуляторах, конденсаторах и т.д. другие виды энергии на такое не способны.

С другой стороны, применение электротехнического оборудования связано с возможностью возникновения пожаров или взрывов вследствие аварий, неправильной эксплуатации, или неверного выбора электрооборудования.

При проектировании, монтаже и эксплуатации необходимо строго соблюдать требования нормативно-технической документации.

В последнее время количество пожаров, возникших при эксплуатации электроустановок растет. Для улучшения ситуации работники пожарной охраны, инженеры по охране труда, инженеры – электрики должны понимать причины пожаров в электроустановках, владеть нормативно-технической документацией.

Значительный вклад в повышение подготовленности специалистов внесли Черкасов В.Н., Собоурь С.В., Малов В.В. и др.

Пособие написано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Пожарная безопасность электроустановок».

ВВЕДЕНИЕ

Согласно статистическим данным ежегодно в Российской Федерации из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок происходит более 20% пожаров. Это одна из самых распространенных причин пожаров. Более половины пожаров электроустановок связано с нарушением правил эксплуатации проводов и кабелей.

Поэтому одной из важных задач при подготовке инженерных кадров по специальности «Пожарная безопасность» является экспертиза состояния электрооборудования и электрических сетей. При этом необходимо проверять соответствие степени защиты установленного электрооборудования условиям окружающей среды, а также соответствие сечения проводников и параметров аппаратов защиты имеющейся нагрузке.

Будущий инженер должен понимать физические процессы в электроустановках, знать причины возгораний по вине электроустановок, а также способы и аппараты защиты электрических сетей, мероприятия, уменьшающие риск возникновения пожара в электроустановках.

В учебном пособии рассматриваются общие сведения об электроснабжении, основные виды электроустановок, их маркировка.

Описаны основные причины возгораний в электроустановках.

Приводится классификация пожаро- и взрывоопасных зон, а также минимальные степени защиты электрооборудования для эксплуатации в этих зонах.

Рассмотрены расчеты электрических сетей для выбора аппаратов защиты, приведен порядок расчета защитного заземления, молниезащиты зданий, а также защиты взрывоопасных производств от статического электричества.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Пожарная безопасность электроустановок», также может быть полезно студентам электротехнических специальностей при выполнении курсовых проектов, связанных с выбором и проверкой электрооборудования; сотрудникам Государственного пожарного надзора при проведении экспертизы состояния электрооборудования и электрических сетей.

1 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

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

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Промышленные электроустановки по функциональному назначению подразделяются на следующие виды:

- генераторы – вырабатывающие электрическую энергию;
- преобразователи напряжения (трансформаторы), преобразователи частоты – преобразующие электрическую энергию;
- провода, кабели – передающие электрическую энергию от пунктов выработки и преобразования до электроприемников;
- распределительные подстанции, узлы, щиты, устройства – распределяющие электрическую энергию;
- электродвигатели, электротермические, электросварочные, электроосветительные и другие – потребляющие электрическую энергию
- электроприемники.

Все перечисленные электроустановки, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [1], нормируются на напряжение до 1000 В и напряжение выше 1000 В.

Около 75 % всей вырабатываемой в нашей стране электрической энергии потребляется промышленными электроприемниками, которые по виду потребляемого тока делятся на следующие группы:

- электроприемники трехфазного тока напряжением до 1000 В частотой 50 Гц;
- трехфазного тока свыше 1000 В частотой 50 Гц;
- однофазного тока до 1000 В частотой 50 Гц;
- работающие с иной частотой, питаемые от преобразовательных подстанций и установок;
- постоянного тока, питаемые от преобразовательных подстанций и установок.

Промышленные предприятия работают на переменном трехфазном

токе. Группы электроприемников постоянного тока питаются от преобразовательных подстанций с полупроводниковыми выпрямителями, чаще всего с использованием мощных тиристоров. Так как выпрямительные агрегаты питаются от сети трехфазного тока, то они, в свою очередь, являются электроприемниками трехфазного тока.

Электроустановки напряжением до 1000 В выполняются как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью, а установки постоянного тока – с глухозаземленной и изолированной нулевой точками.

Электроустановки с изолированной нейтралью следует применять при повышенных требованиях к безопасности при условии, что в этом случае обеспечивается контроль изоляции сети и целостность изолирующей прокладки пробивных предохранителей, отключение участков с замыканием на землю.

В четырехпроводных сетях переменного тока или трехпроводных сетях постоянного тока глухое заземление нейтрали обязательно.

По требованиям обеспечения надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории. Нарушение электроснабжения электроприемников I категории может вызвать опасность для жизни людей, нанести большой ущерб народному хозяйству, повредить оборудование, привести к массовому браку продукции, а также к трудновосстанавливаемым нарушениям технологического процесса. Электроприемники этой категории должны питаться, по меньшей мере, от двух независимых источников, и обрыв питания допускается только на время автоматического переключения с основного вида на резервный.

В I категорию включена также особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства в целях предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

К электроприемникам II категории относятся такие, перерыв питания которых приводит к резкому снижению выпуска продукции, длительным простоям механизмов, транспорта. Категория охватывает многочисленную группу электроприемников, которые допускают перерыв в электроснабжении в течение времени, необходимого дежурному персоналу для обеспечения включения резервного питания. Эти

электроприемники можно питать от одной воздушной линии электропередач напряжением 6 кВ и выше, осуществляя резервирование на пониженном напряжении, а также от одного трансформатора, если есть централизованное резервирование трансформаторов на складе внутри объекта или на небольшом расстоянии от него. Для этой категории можно применять автоматическое резервирование, если это не требует больших затрат.

К электроприемникам III категории относятся все остальные потребители.

Электроприемники на взрывоопасных и пожароопасных объектах относятся к I или ко II категории. Это нормативное решение обеспечивает более эффективную эвакуацию людей и имущества при пожаре, большую надежность системы водоснабжения, внутрицехового транспорта и другого оборудования промышленного предприятия.

Основным элементом схемы электроснабжения являются электрические сети, которые по конфигурации разделяются на *разомкнутые* и *замкнутые*. Разомкнутые электрические сети делятся на *радиальные* и *магистральные* (рис. 1.2); замкнутые электрические сети – на *двусторонние*, *кольцевые*, *двойные магистральные*, *сложнозамкнутые* (рис. 1.3).

Магистральной сетью называется схема питания нескольких главных или цеховых подстанций от одной магистрали с общим отключающим аппаратом со стороны питания. Магистральные сети осуществляют дробление подстанций наиболее экономичным образом, особенно при применении в качестве магистралей линий электропередачи или токопроводов.

Магистральные сети в замкнутых электрических сетях в зависимости от особенностей электроснабжения потребителей могут выполняться в виде одиночных и двойных магистралей с односторонним или двусторонним питанием (см. рис. 1.3). Разновидностью схем с двусторонним питанием являются магистральные кольцевые и сложнозамкнутые схемы (см. рис. 1.3, б).

Радиальные сети (см. рис. 1.2, а,б) могут применяться в случаях, когда магистральные сети не дают экономического эффекта или не удовлетворяют заданным требованиям, например, при питании:

крупных сосредоточенных нагрузок, в частности, если питание

производится кабельными линиями или линиями, пропускная способность которых недостаточна для одновременного питания нескольких подстанций;

средних и крупных обособленных нагрузок;

ударных и резко колеблющихся нагрузок (электродных подстанций, прокатных станков и т.п.).

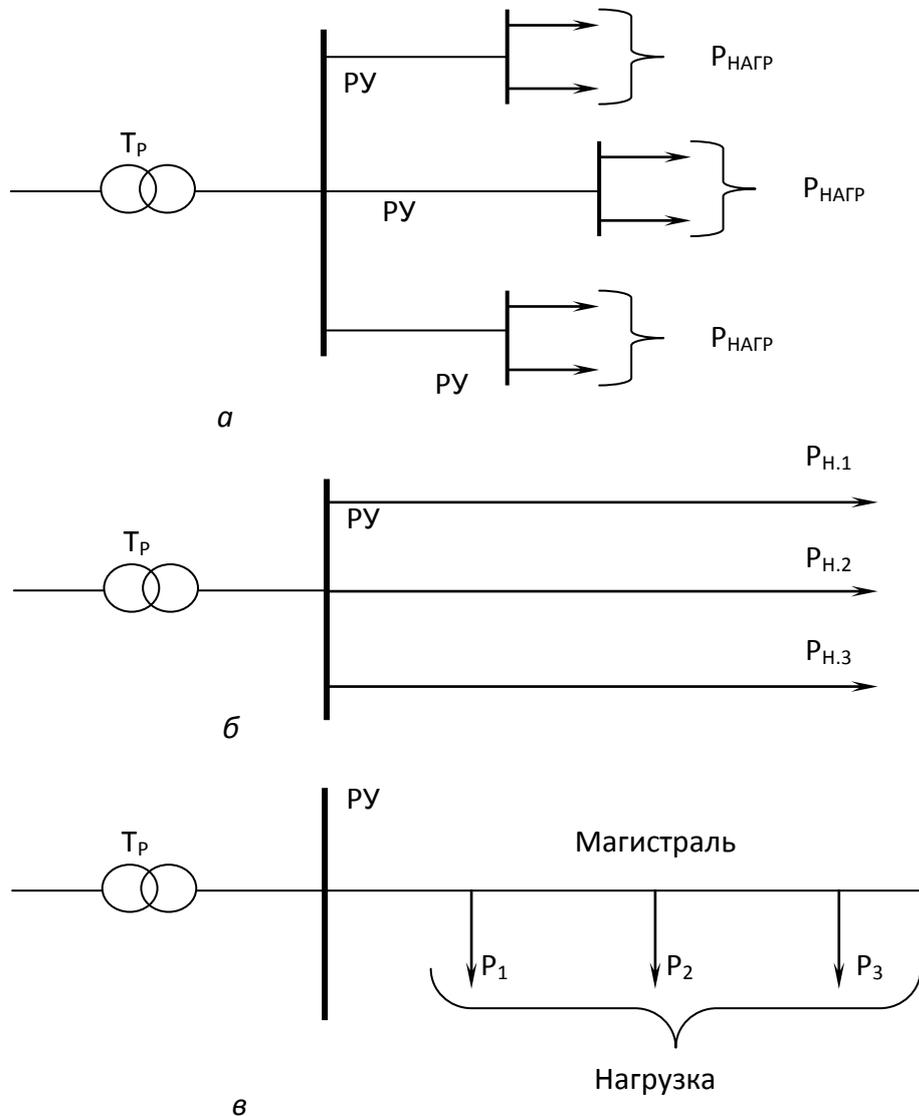


Рис. 1.1. Конфигурация разомкнутых электрических сетей:

а – распределенная радиальная; б – сосредоточенная радиальная; в – магистральная

Радиальные сети обладают большей гибкостью и удобством в эксплуатации, поскольку место повреждения может быть обнаружено быстрее и проще.

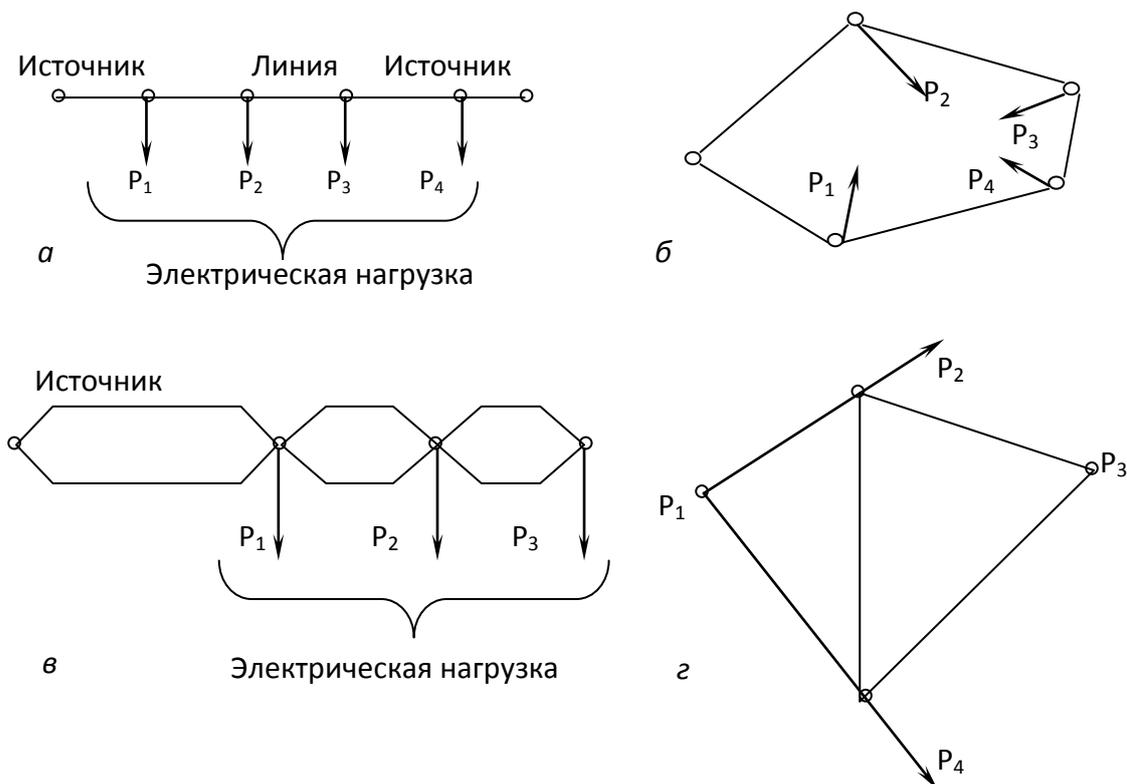


Рис. 1.2. Конфигурация замкнутых электрических сетей:

а - двусторонняя; *б* - кольцевая; *в* - двойная магистральная; *г* - сложнозамкнутая

Радиальные сети бывают одноступенчатые, когда территория предприятия невелика и распределяемая мощность также мала, двухступенчатые, когда применяются промежуточные распределительные пункты, питающие радиальные сети другой ступени. В таком случае освобождаются более крупные подстанции, например главные понизительные подстанции (ГПП), от большего числа присоединений.

По конструкции электросети разделяются на *электропроводки*, *токопроводы*, *кабельные* и *воздушные линии* электропередач.

Электропроводкой называется совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и деталями, установленными в соответствии с ПУЭ [1].

Токопроводом называется устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Кабельной линией называется линия для передачи электроэнергии или

отдельных ее импульсов, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями.

Воздушной линией электропередачи до 1 кВ называется устройство для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам, стойкам на зданиях и инженерных сооружениях (мостах, путепроводах и т.п.).

Электропроводки в электрических сетях до 1000 В бывают *наружными* и *внутренними*, с защищенными и незащищенными изолированными проводами, *открытые* и *скрытые*. Открытые проводки могут быть стационарными, передвижными и переносными. Во всех случаях необходимо полное соответствие типов проводки свойствам среды, особенно химически агрессивной, пожаро- и взрывоопасной.

Токопроводы очень эффективны при передаче большого количества электроэнергии на сравнительно небольшие расстояния. Они получили широкое распространение, так как позволяют отказаться от большого числа дорогостоящих кабелей и представляют собой устройство из голых проводников (шин, лент, проводов), изоляторов и вспомогательных конструкций, смонтированных в тоннелях, галереях или на эстакадах.

1.2 СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

Существуют следующие **типы систем токоведущих проводников** переменного тока:

- однофазные двухпроводные;
- однофазные трехпроводные;
- трехфазные трехпроводные;
- трехфазные четырехпроводные;
- трехфазные пятипроводные.

Системы заземления могут быть следующих типов: TN-S, TN-C, TN-C-S, IT, TT.

Система TN – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части

электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников.

В приведенном определении использовался ряд терминов.

Нейтраль – общая точка обмоток генераторов или трансформаторов, питающих сеть; напряжения на выходных зажимах источника электроэнергии, измеренные относительно нейтрали, равны.

Глухозаземленная нейтраль источника электроэнергии – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Изолированная нейтраль – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

Проводящие части – части, которые могут проводить электрический ток.

Токоведущие части – проводники или проводящие части, предназначенные для работы под напряжением в нормальном режиме, включая нулевой рабочий проводник.

Открытые проводящие части – доступные прикосновению проводящие части электроустановки, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Нулевой проводник – это проводник, соединенный с глухозаземленной нейтралью, предназначенный либо для питания потребителей электроэнергии, либо для присоединения к открытым проводящим частям.

Нулевой рабочий проводник (N – проводник) – нулевой проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников.

Нулевой защитный проводник (PE – проводник) – нулевой проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для присоединения к открытым проводящим частям с целью обеспечения электробезопасности.

Классификация и схемы электрических систем с напряжением до 1000 В

Система TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (см. рис. 3.1); при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается PEN.

Для этой старой системы заземления советских времен характерно следующее: к заземлителю, который находится на подстанции, присоединяется нулевой провод, также выполняющий функцию защитного (PEN). Из-за этого защиту, выполненную по такой схеме, нередко называют «занулением». При этом проводку делают двух-четырёхжильным проводом, контактов заземления в розетках нет.

Основным достоинством системы TN-C является простота и дешевизна. Главный недостаток – возможное поражение людей электрическим током: защитные устройства защищают сеть от сверхтоков короткого замыкания, но не людей.

Включение современной электротехники с импульсными источниками питания в розетки сети с TN-C приводит к такому явлению, как вынос напряжения на корпус. Причиной этого являются импульсные блоки питания, которые на входе имеют симметричный фильтр импульсных помех со средней точкой, присоединенной к корпусу. При занулении устройства напряжение 220В делится на плечах фильтра и на корпусе составляет 110В.

В сельских районах в случае отсутствия повторных заземлений возможно отгорание нулевого вывода на питающем трансформаторе. В зависимости от подключенных нагрузок, напряжение на трех фазах непредсказуемым образом перекашивается, что приводит к выводу из строя всех бытовых электроприборов.

Сегодня система заземления TN-C не используется при строительстве новых домов или реконструкции старых.

В старых зданиях рекомендуют перейти от системы TN-C к TN-C-S, т.е. на вводе в здание сделать повторное заземление нулевого провода с последующим разделением провода PEN на N (рабочий ноль) и PE (защитный). Для этого необходимо устроить отдельный очаг заземления и заменить всю электропроводку в доме. Если по каким-то причинам этого сделать нельзя, следует хотя бы обеспечить зануление электрических

устройств. Заземляющие винты и клеммы стационарных электроприборов нужно присоединить к нулевому проводу. Для переносных устройств пользуются трехполюсными розетками с заземляющими контактами, которые тоже присоединяют к нулевому проводу.

Необходимо помнить, что без указанных мер в электропроводке с системой TN-C считается безопасным использовать лишь электроприборы с двойной изоляцией корпуса и частей, проводящих ток.

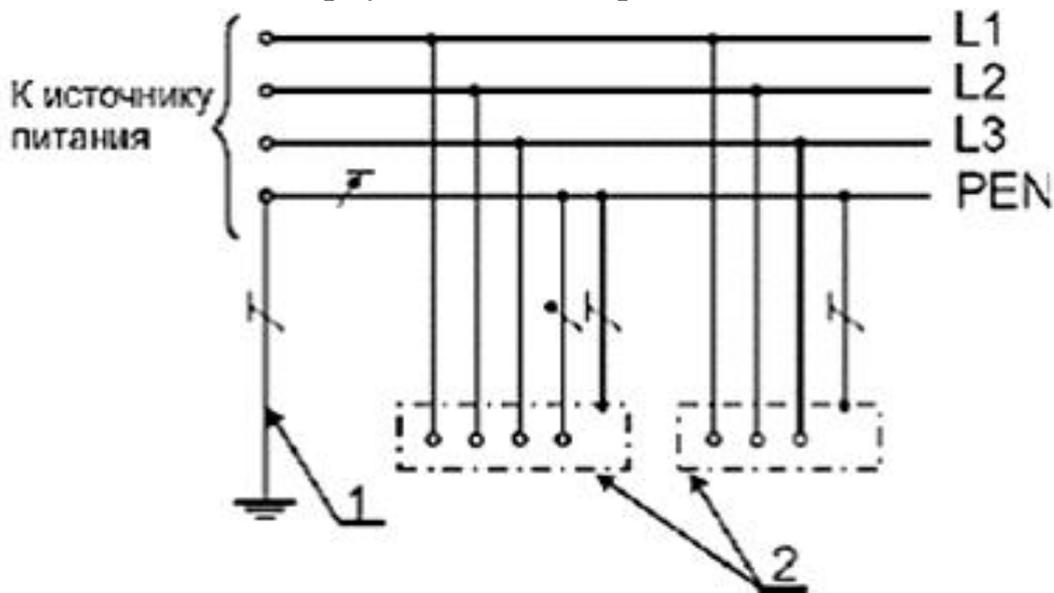


Рис. 1.3. Система TN-C

Система TN-S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (см. рис.3.2).

В этой современной системе заземления проводники защитного заземления PE и рабочей нейтрали N прокладываются отдельно по всей длине с помощью трех-пятижильных проводов и кабелей. Применение такой системы позволяет предотвратить поражение электрическим током (используются дифференциальные автоматы и устройства защитного отключения). Помимо этого, в электропроводках с TN-S можно без всякого риска использовать электроприборы с металлическим корпусом.

Среди недостатков системы можно назвать ее более высокую стоимость: нужны провода и кабели с дополнительной жилой, а также отдельный очаг заземления. Следует учитывать, что защитить людей от поражения электрическим током можно, только используя дорогие устройства защитного отключения и дифавтоматы. При использовании TN-S необходим качественный и аккуратный монтаж электропроводки.

Главный недостаток системы – невозможность полноценно использовать эту систему из-за того, что распределительные сети 0,4 кВ в России выполнены четырехпроводными линиями.

Устранить такое противоречие позволяют комбинированные системы заземления.

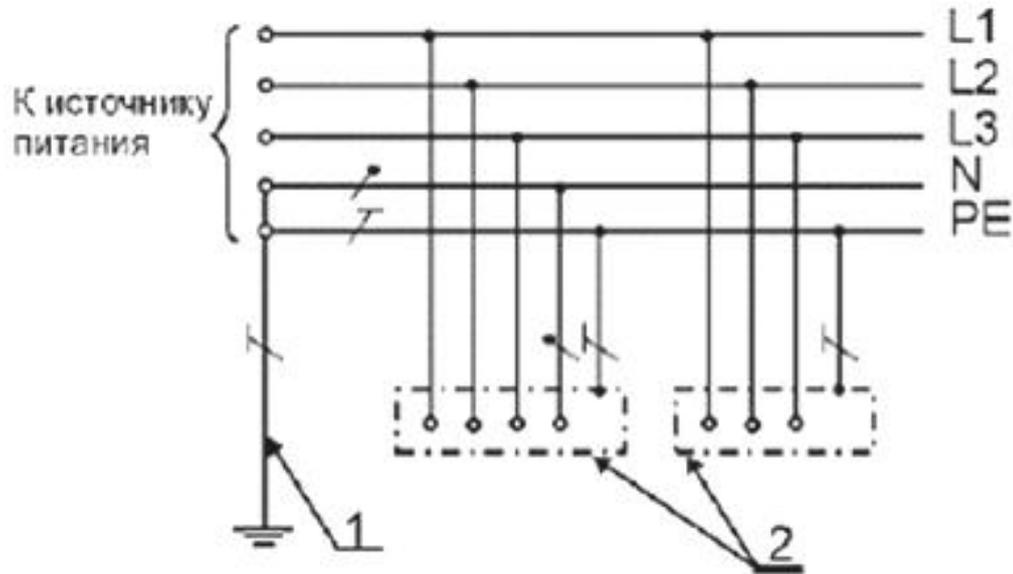


Рис. 1.4. Система TN-S

Система TN-C-S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника электроэнергии (см. рис. 3.3).

При этой системе заземления защитный проводник и рабочий ноль до ввода в здание объединены (PEN), на вводе делают повторное заземление, после которого их разделяют на PE и N.

Систему TN-C-S рекомендуют для вновь возводимых и реконструируемых сооружений и зданий.

Следует помнить, что современные электрические устройства предусматривают подключение к сетям с TN-C-S (TN-S) и изначально не занулены, т.е. их металлические корпуса и части не соединены с питающими проводниками. Поэтому такие устройства можно подключать к сети только трех-пятипроводными кабелями и проводами с соединением клеммы заземления (болта, контакта) с контактом заземления в вилке, что обеспечит правильное автоматическое заземление устройства.

Немаловажно и то, что для многих старых отечественных устройств характерно жесткое соединение корпуса с нулем. При подсоединении

таких устройств к сети с TN-C-S (TN-S) возможно отключение защиты по току утечки.

При применении системы TN-C-S необходимо надежное повторное заземление, также заземляют все проводящие части и конструкции здания.

С этой целью на вводе в здание устраивают так называемую главную заземляющую шину, т.е. клеммник. Его соединяют с повторным заземлением дома и присоединяют к нему неразрывными проводниками металлические элементы и конструкции: арматурный каркас, трубы, металлические решетки, профили и т.п.

Достоинства и недостатки TN-C-S – такие же, как у TN-S.

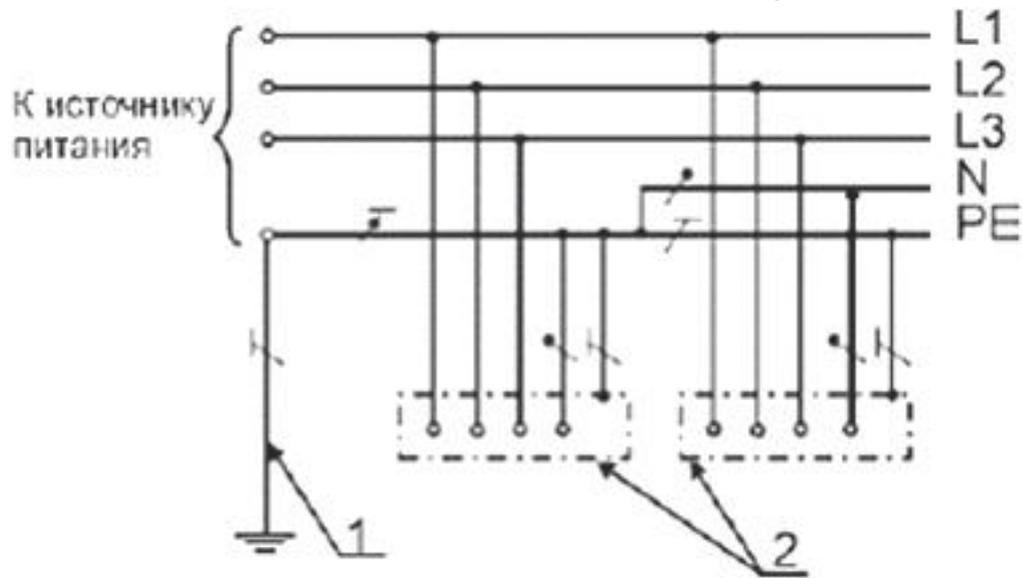


Рис.1.5. Система TN-C-S

Система IT – система, в которой нейтраль источника электроэнергии изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющее большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (см. рис.3.4). В этом случае защитный заземляющий проводник обозначается так же, как и нулевой защитный проводник, т.е. PE – проводник.

Система IT используется редко. Как правило – в электроустановках специальных сооружений и зданий, к которым предъявляются повышенные требования безопасности и надежности (например, в больницах для аварийного освещения и электроснабжения).

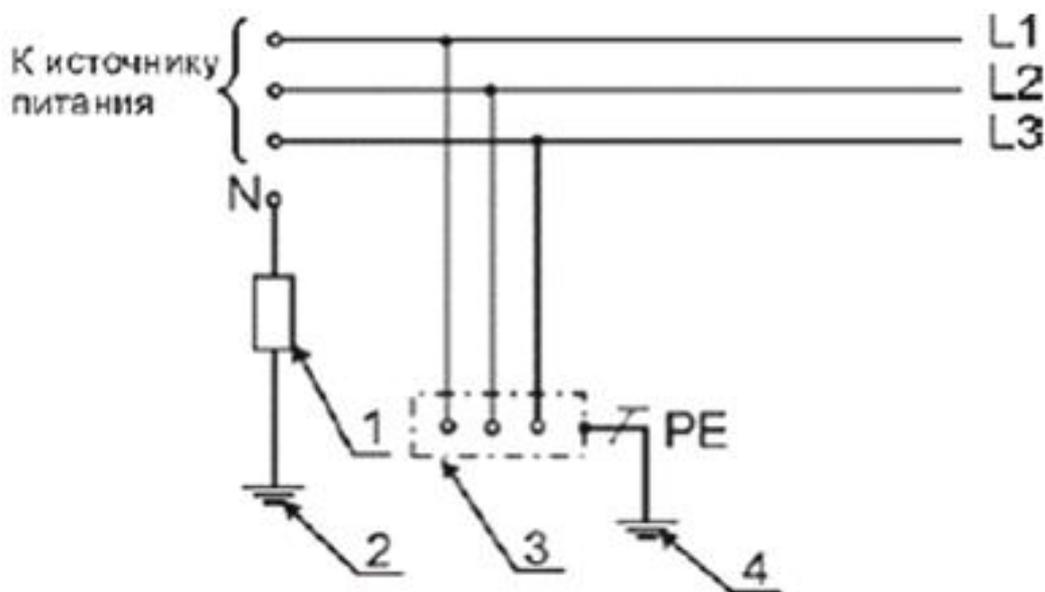


Рис. 1.6. Система IT

Система TT – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

При этом заземления нуля на трансформаторе может вообще не быть, как и самого нуля (распространенное ранее соединение обмоток по схеме «треугольник», которое и сейчас используется в высоковольтных распределительных сетях).

TT обычно не используется в электроустановках жилых зданий. Схема может представлять интерес для индивидуальных застройщиков в том случае, если отсутствует собственный очаг заземления на вводе в здание и необходимо организовать питание его электросети от, скажем, бензогенератора.

Однако при этом следует помнить, что, помимо станины генератора, к заземлителю необходимо подключить один из выходных контактов – при применении однофазного генератора, вывод средней точки – при трехфазном.

1.3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПРОВОДАМ И КАБЕЛЯМ

Для передачи электрической энергии непосредственно к потребителям широко используются провода и кабели [46].

Провод – кабельное изделие, содержащее одну неизолированную или

одну и более изолированных жил, которые в зависимости от условий прокладки и эксплуатации могут быть покрыты неметаллической оболочкой и (или) оплеткой, либо одну изолированную или несколько изолированных друг от друга проволок, имеющих общую обмотку и (или) оплетку из изолирующего материала.

Кабель – кабельное изделие, содержащее одну или несколько изолированных жил (проводников), заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации накладывается защитный покров.

Провода и кабели маркируются в зависимости от того, из каких материалов выполнены токоведущие жилы. В обозначении маркировки провода первая буква «А» означает, что провод имеет алюминиевую жилу. Если обозначение маркировки провода начинается с другой буквы (например, ППВ, ПР, ПРП и др.), то это означает, что данный провод имеет медную жилу. Провода с резиновой изоляцией имеют в условном обозначении букву «Р», стоящую, как правило, после буквы «П» (провод). Провода с полихлорвиниловой изоляцией имеют в условном обозначении букву «В». Медные гибкие провода в своем условном обозначении имеют букву «Г» (гибкие).

Жилы проводов имеют стандартные сечения. Наиболее распространенными из них являются сечения: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 185; 240; 300; 400 мм². Назовем наиболее распространенные марки проводов. Провода и шнуры с резиновой изоляцией в оплетке из волокнистых материалов: ПР, ПРГ, ПРПГ, ПРПГУ, АПР, ПРТО, АПРТО, ПРГН; провода с полихлорвиниловой изоляцией: ПВ, АППВ, ППВ, ПГВ, АПВ, ППГВ, ППВС, АППВС; провода, имеющие металлическую или иную оболочку, которая защищает изоляцию от механических повреждений: ПРП, ПРРП, ПРПВ, ПРВ, АПРВ, ПРВД, ШРПЛ, ШРПС, ПРШП. Провода теплостойкие: ПРКС, ПРБС, ПТГ, ПРКТ, ПРКА с температурой нагрева изоляции от 108 до 250 °С и др.

Для питания электроэнергией мощных потребителей в «тяжелых» условиях и средах, как правило, используются кабели. В зависимости от назначения и конструкции кабели маркируются буквенными символами, расшифровка которых приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Расшифровка обозначений кабелей

Конструкция кабеля	Место символа в обозначении марки кабеля			Значение символа	Примечание
	в начале	в середине	в конце		
Токопроводящая жила Изоляция жил	А	Р _т В П		Алюминий Резина повышенной теплостойкости Полихлорвинил Полиэтилен	Медная жила символа не имеет Бумажная изоляция символа не имеет
Защитная герметичная оболочка	А С В Н			Алюминий Свинец Полихлорвинил Найрит (резина, не распространяющая горение)	
Броня			Б П Г	Стальная лента Проволока Без джутового покрова поверх брони (кабель голый)	
Отдельно свинцованные жилы	О		Т	Для прокладки в трубах	

Контрольные кабели имеют в маркировке букву «К», например, КАБГ – контрольный кабель с медной жилой, алюминиевой оболочкой, бумажной изоляцией и голой броней.

На рис. 1.4 приведен пример конструкции силового кабеля. Наиболее распространены кабели с резиновой изоляцией в свинцовой оболочке: СРГ, СРБ, САРБ, СРБГ, АСПГ, СРПГ; в полихлорвиниловой или найритовой оболочке: ВРГ, ВРБ, АВРГ, НРГ, АНРБ; с пластмассовой изоляцией: ВВГД, АВВГД, ВБВ, АВБВ, АВВ, АВтВ, ВВ, ВБВнг (оболочка пониженной горючести), ЦСБУ, АЦСБУ; с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой оболочке: СГ, АСГ, АСГТ, СБ, СП, СПГ; в алюминиевой оболочке: АГ, ААГ, АБГ, АП, АПГ, ААПГ.

При выборе марок проводов, шнуров и кабелей руководствуются назначением и рабочим напряжением; характером окружающей среды, в том числе такими ее свойствами, как пожаро- и взрывоопасность и агрессивность; способом прокладки; ценностью сооружения и его

архитектурными особенностями; условиями электробезопасности и пожарной безопасности при эксплуатации сети.

Так, по условиям пожаро- и взрывобезопасности [1] во взрывоопасных зонах В-I и В-Iа должны использоваться провода и кабели только с медными жилами. Во взрывоопасных зонах остальных классов допускается применять провода и кабели с алюминиевыми жилами в том случае, если соединения и оконцевания производятся пайкой, сваркой или опрессовкой и если у машин, аппаратов и приборов есть вводные устройства и контактные зажимы, предназначенные для присоединения проводов и кабелей с алюминиевыми жилами.

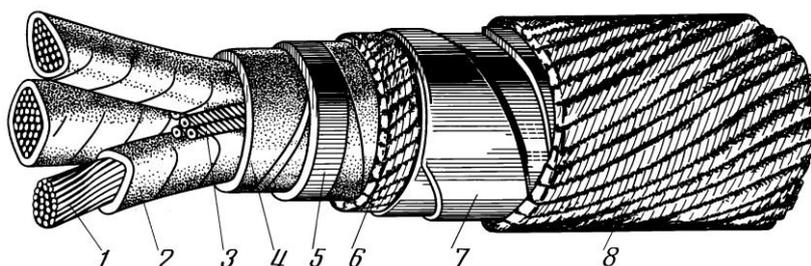


Рис. 1.7. Силовой кабель:

1 - токоведущие жилы; 2 - фазная изоляция (бумага, пропитанная маслом или теплостойкая резина); 3 - джутовый наполнитель; 4 - поясная изоляция (бумага, пропитанная маслом, или теплостойкая резина); 5 - защитная оболочка (свинцовая или алюминиевая); 6 - джутовая прослойка; 7 - стальная ленточная броня; 8 - джутовый покров

Провода и кабели должны иметь изоляцию, соответствующую напряжению сети, а защитные оболочки – условиям и способу прокладки. В пожаро- и взрывоопасных зонах изоляция провода и кабеля должна соответствовать номинальному напряжению сети, но быть не ниже 500 В.

Во взрывоопасных зонах всех классов допускается применение проводов и кабелей с резиновой, полихлорвиниловой и бумажной изоляцией. В пожароопасных зонах для электропроводок рекомендуется применять провода и кабели (бронированные и небронированные) с алюминиевыми и медными жилами, оболочками и покровами из материалов, не поддерживающих горения. Применение проводов и кабелей с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой запрещается в пожаро- и взрывоопасных зонах всех классов.

Кабели, прокладываемые во взрывоопасных зонах всех классов открыто (на конструкциях, стенах, в каналах, туннелях и т.п.), не должны

иметь наружных покровов и покрытий из горючих материалов (джута, битума, хлопчатобумажной оплетки и т.п.), а кабели для напряжения выше 1000 В, кроме того, должны быть бронированными. Применение кабелей с алюминиевой оболочкой в зонах В-I и В-Ia запрещается.

Допустимые способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах приводятся в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Способы прокладки кабелей

Кабели и провода	Способ прокладки	Зоны		
		Сети напряжением выше 1000 В	Силовые сети и вторичные цепи напряжением до 1000 В	Осветительные сети до 380 В
Бронированные кабели	Открыто – по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах; в каналах; скрыто – в земле (в траншеях), в блоках	В зонах любого класса		
Небронированные кабели в резиновой, полихлорвиниловой 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 каналах пылеуплотненных (например, покрытого асфальтом) или заполненных песком Открыто – в коробах	В-Iб, В-IIа, В-Iг	В-1б, В-IIа, В-Iг	В-Iа, В-1б, В-IIа, В-Iг
		В-II, В-IIа	В-II, В-IIа	В-II, В-IIа
		В-1б, В-Iг	В-Iа, В-1б, В-Iг	В-Iа, В-1б, В-Iг
Изолированные провода	Открыто и скрыто – в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса		

Для искробезопасных цепей во взрывоопасных зонах любого класса

допускается перечисленные в табл. 1.2 способы прокладки кабелей и проводов.

1.4 ПРИЧИНЫ ВОЗГОРАНИЙ И ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Электротехнические устройства можно объединить в группы по наиболее существенным признакам: конструктивному исполнению, электрическим характеристикам, функциональному назначению. Шесть основных групп электроустановок охватывают практически все многообразие применяемых на практике электротехнических устройств.

Причины возгораний проводов и кабелей

1. Перегрев от короткого замыкания между жилами провода и жилами кабеля, их жилами и землей в результате:

пробоя изоляции повышенным напряжением, в том числе от грозовых перенапряжений;

пробоя изоляции в месте образования микротрещин как заводского дефекта;

пробоя изоляции в месте механического повреждения при эксплуатации;

пробоя изоляции от старения;

пробоя изоляции в месте локального внешнего или внутреннего перегрева;

пробоя изоляции в месте локального повышения влажности или агрессивности среды;

случайного соединения токопроводящих жил кабелей и проводов между собой или соединения токопроводящих жил на землю;

умышленного соединения токопроводящих жил кабеля и проводников между собой или соединения их на землю.

2. Перегрев от токовой перегрузки в результате:

подключения потребителя завышенной мощности;

появления значительных токов утечки между токоведущими проводами, токоведущими проводами и землей (корпусом), в том числе на распределительных устройствах за счет снижения величины электроизоляции;

увеличения окружающей температуры на участке или в одном месте, ухудшения теплоотвода, вентиляции.

3. Перегрев мест переходных соединений в результате:

ослабления контактного давления в месте существующего соединения двух или более токопроводящих жил, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления;

окисления в месте существующего соединения двух и более проводников, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления.

Анализ этих причин показывает, что, например, короткое замыкание в электропроводниках не является первопричиной загораний, тем более пожаров. Оно является следствием не менее восьми первичных физических явлений, приводящих к мгновенному снижению сопротивления изоляции между токопроводящими жилами разных потенциалов. Именно эти явления следует считать первичными причинами пожара, исследование которых представляет научный и практический интерес.

Пожарная опасность кабелей

Пожарная опасность кабелей в основном связана с распространением горения одиночным кабелем или их группой и пределом огнестойкости.

Требования к пожарной безопасности кабельных изделий приведены в [5].

Причины возгораний электродвигателей, генераторов и трансформаторов

1. Перегрев от коротких замыканий в обмотках в результате межвиткового пробоя электроизоляции:

в одной обмотке повышенным напряжением;

в месте образования микротрещин как заводского дефекта;

от старения;

от воздействия влаги или агрессивной среды;

от воздействия локального внешнего или внутреннего перегрева;

от механического повреждения;

2. Перегрев от коротких замыканий на корпус в результате пробоя электроизоляции обмоток:

повышенным напряжением;

от старения электроизоляции;

пробоя электроизоляции обмоток на корпус от механического повреждения электроизоляции;

от воздействия влаги или агрессивной среды;

от внешнего или внутреннего перегрева.

3. Перегрев от токовой перегрузки обмоток возможен в результате:

завышения механической нагрузки на валу;

работы трехфазного двигателя на двух фазах;

торможения ротора в подшипниках от механического износа и отсутствия смазки;

повышенного напряжения питания;

длительной непрерывной работы под максимальной нагрузкой;

нарушения вентиляции (охлаждения);

завышенной частоты включения под нагрузку и выключения;

завышенной частоты реверсирования электродвигателей;

нарушения режима пуска (отсутствие пусковых гасящих сопротивлений).

4. Перегрев от искрения в контактных кольцах и коллекторе в результате:

износа контактных колец, коллектора и щеток, приводящего к ослаблению контактного давления;

загрязнения, окисления контактных колец, коллектора;

механического повреждения контактных колец, коллектора и щеток;

нарушения мест установки токосъемных элементов на коллекторе;

перегрузки на валу (для электродвигателей);

токовой перегрузки в цепи генератора;

замыкания пластин коллектора из-за образования токопроводящих мостиков на угольной и медной пыли.

Пожарная опасность электродвигателей

В результате перегрузки электрических машин, из-за засорения вентиляционных каналов системы охлаждения, а также при покрытии теплоизолирующим слоем волокон, пуха и пыли внутренней полости машин возникает их перегрев. Равномерный перегрев всей обмотки статора происходит, если электродвигатель перегружен или нарушен режим его охлаждения, обмотка статора соединена “треугольником”, напряжение на зажимах двигателя ниже нормального, вследствие чего в двигателе при номинальной мощности возникают токи перегрузки. Перегрев обмотки ротора (якоря) возникает при перегрузке двигателя и нарушении режима его охлаждения, в результате плохого контакта в пайках любых частей обмотки, при слабом контакте или искрении в щеточном аппарате. Перегрев электрических машин может быть вызван

их работой на двух фазах, что является наиболее частой причиной выхода из строя трехфазных асинхронных двигателей Перегрев обмоток электрических машин может вызвать воспламенение изоляции проводов, что нередко приводит к пожару, особенно в тех случаях, когда вблизи электрических машин имеются горючие материалы или на их поверхности находятся отложения волокон и пыли. Распространенной причиной возникновения пожаров является пробой изоляции обмоток на корпус электрических машин. Большие переходные сопротивления у электрических машин наиболее часто возникают в распределительных коробках и местах соединения подводящих проводов с выводными концами статорной обмотки (у асинхронных двигателей). При эксплуатации электрических машин под действием вибрации, резких колебаний и толчков плотность контактов нарушается. Особую пожарную опасность представляют искрение щеток и пригорание контактных колец у электрических машин, так как образующиеся искры могут вызвать загорание горючих материалов. Причиной пожара может быть также перегрев подшипников электрических машин из-за недостаточной их смазки, перекосов вала и т. п.

Пожарная опасность трансформаторов

Пожарная опасность трансформаторов сильно зависит от типа трансформатора. Наиболее часто применяются масляные и сухие трансформаторы. Масляные обладают значительно большей пожарной опасностью, так как содержат трансформаторное масло, которое является как изолятором, так и теплоносителем, охлаждающим обмотки трансформатора. В основном загорания трансформаторов связаны с перегрузками, превышающими предельно допустимые согласно [6], межвитковые короткие замыкания, короткие замыкания в сети, приводящие к нагреву обмоток трансформаторов, коммутационные и грозовые перенапряжения, приводящие к пробоям изоляции трансформаторов и межвитковым замыканиям.

Причины возгораний осветительной аппаратуры

1. Перегрев от электрического пробоя, образования слабого контактного соединения, искрения между токопроводящими элементами и местами с разными потенциалами, токоведущими элементами и корпусами в результате:

механического смещения токопроводящих элементов до взаимного

сопротивления разными потенциалами;

снижения электроизоляционных качеств конструктивных элементов и образования в связи с этим цепей утечки тока от старения, загрязнения поверхностей, от агрессивных воздействий;

ослабления контактного давления и в связи с этим увеличения переходного сопротивления в местах подсоединения проводов;

ослабления контактного давления и увеличения переходного сопротивления в местах подсоединения источников света (в цоколе, патроне) к питающему напряжению;

окисления контактируемых поверхностей и увеличения переходного сопротивления в местах подсоединения источника света (ламп в цоколе, патроне, ламподержателе) к питающему напряжению;

использования источников света повышенной мощности, приводящего к перегреву патрона и рассеивающей арматуры.

2. Перегрев в элементах пускорегулирующей аппаратуры люминесцентных ламп и ламп типа ДРЛ в результате:

«залипания» стартера, приводящего к токовой перегрузке дросселя;

ухудшения естественного охлаждения (теплоотвода) конструктивных элементов, в частности дросселя при сильной запыленности, неправильной установке по месту;

электрического пробоя конденсатора, приводящего к токовой перегрузке дросселя;

«залипания» стартера, приводящего к расплавлению электродов, перегреву цоколя лампы и ламподержателя;

повышенного рассеяния мощности в дросселе из-за расслабления крепления магнитного сердечка;

межвиткового замыкания в трансформаторе для бесстартерных схем пуска и питания;

электрического пробоя сетевого конденсатора в бесстартерной схеме пуска и питания, приводящего к токовой перегрузке дросселя и трансформатора;

обрыва (перегорания) нити накала одного из электродов лампы (от чего лампа работает как выпрямитель), приводящего к токовой перегрузке первичной обмотки трансформатора для бесстартерной схемы пуска и питания.

Пожарная опасность источников света

Пожарная опасность ламп накаливания (ЛН) складывается из двух составляющих: опасности зажигания горючих материалов: при несоблюдении пожаробезопасного расстояния до их колб и опасности появления при аварийных режимах в ЛН источников зажигания с высокой зажигательной способностью. В первом случае пожарная опасность обуславливается высокими температурами нагрева колб. Температура нагрева колб зависит от мощности ЛН, от положения колбы в пространстве и чистоты поверхности колбы. Так, если поверхность колбы чистая, то в зависимости от мощности ЛН температура ее нагрева достигает 80—170 °С. Если колбы ламп загрязнены, например, различной производственной пылью (древесной, мучной, травяной и т.п.), то температура нагрева может существенно повыситься и достигать 250—300 °С. На практике пожары от ЛН нередко возникают в результате использования ЛН повышенной мощности, поскольку вместо рекомендуемой заводом-изготовителем мощности лампы для светильника используют ЛН большей мощности, так как цоколи ламп накаливания в диапазоне от 15 до 300 Вт одинаковы. Поэтому нередки случаи загорания пластмассовых плафонов. Наиболее высокие температуры нагрева на колбе развиваются в местах соприкосновения ее с материалами с низкой теплопроводностью.

При определенных условиях в ЛН возникают дуговые разряды между электродами. В одном случае дуговой разряд может вызвать разрыв колбы, в другом — проплавление ее частицами никеля, образующимися в результате расплавления дугой электродов. В обоих случаях аварийный режим сопровождается образованием и выбросом источников зажигания (частиц никеля, раскаленной вольфрамовой спирали и конструктивных элементов, нагретых до высоких температур). Наиболее пожароопасными являются частицы никеля, поскольку они обладают высокой зажигательной способностью. В условиях эксплуатации светильников с лампами накаливания возможны ослабления контактов с электрическим патроном и связанное с этим искрение, местный нагрев и воспламенение изоляции проводов, пластмассы патрона и других близко расположенных горючих материалов. В результате небрежности при монтаже или конструктивных недостатках патрона наблюдались случаи КЗ в местах ввода проводов в светильник, а также в самом электрическом патроне.

Пожароопасными элементами люминесцентных ламп являются

стартер, конденсаторы с бумажным диэлектриком, светорассеиватели из органического стекла и др.

ВНИИПО и рядом испытательных пожарных лабораторий проанализированы случаи и проведены исследования загораний люминесцентных светильников. Исследования показали, что светильники, выполненные по схеме стартерного пуска (без дополнительного устройства в виде токовой защиты), в полной мере не отвечают требованиям пожарной безопасности. Пожарная опасность таких светильников усугубляется особенностью зажигания ламп. Неисправность стартера приводит к увеличению рабочего тока, вследствие чего усиливается нагрев обмоток дросселя, заливочная масса начинает размягчаться и вытекать, что приводит к КЗ в витках обмотки дросселя или к пробоем на корпус. В результате возникает опасность воспламенения горючих материалов. Применение в стартере бумажного конденсатора, особенно когда оболочка стартера из пластмассы, еще более увеличивает пожарную опасность светильников. Недостатки контактного соединения сопровождаются, как правило, искрением, которое может явиться источником загорания горючих отложений (пыли, волокон). Искрение может быть следствием повреждения изоляции проводов схемы и касания их корпуса светильника. Опасным является также нагрев ламп в результате неисправностей пускорегулирующей аппаратуры. В последние годы начали широко внедряться в практику строительства бесфонарные промышленные здания, где освещение выполняют в виде световых полос с применением встроенных светильников ВОД-1-4-80. Светильники этого типа снабжены рассеивателями из органического стекла, которое является горючим материалом. При любом загорании в светильнике горение рассеивателя из оргстекла протекает очень интенсивно, причем расплавленные куски рассеивателя разлетаются и вызывают очаги горения. Светильники этого типа имеют тяжелый тепловой режим, в результате чего изоляция внутренних монтажных проводов и пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) быстро высыхает и осыпается. Под действием высокой температуры рассеиватели из оргстекла деформируются, вследствие чего ухудшается уплотнение светильников. Системы электрического питания светильников не обеспечивают отключение их от сети при внутренних КЗ в схеме, а индивидуальная защита светильников не предусмотрена. Учитывая определенную

пожарную опасность таких светильников, в процессе эксплуатации к ним предъявляются повышенные противопожарные требования.

Причины возгораний в распределительных устройствах, электрических аппаратах пуска, переключения, управления, защиты

1. Перегрев обмотки электромагнита от межвиткового замыкания в результате пробоя изоляции:

- повышенным напряжением;

- в месте образования микротрещин как заводского дефекта;

- в месте механического повреждения при эксплуатации;

- от старения;

- в месте локального внешнего перегрева от искрящих контактов;

- при воздействии повышенной влажности или агрессивности среды.

2. Перегрев от токовой перегрузки в обмотке электромагнита в результате:

- повышенного напряжения питания обмотки электромагнита;

- длительного разомкнутого состояния магнитной системы при включении под напряжением обмотки;

- периодического недотягивания подвижной части сердечника до замыкания магнитной системы при механических повреждениях конструктивных элементов устройств;

- повышенной частоты (количества) включений – выключений.

3. Перегрев конструктивных элементов в результате:

- ослабления контактного давления в местах подключения токопроводящих проводников, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления;

- окисления в местах подсоединения токопроводящих проводников и элементов, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления;

- искрения рабочих контактов при износе контактных поверхностей, приводящего к увеличению контактного переходного сопротивления;

- искрения рабочих контактов при окислении контактных поверхностей и увеличения переходного контактного сопротивления;

- искрения рабочих контактов при перекосах контактных поверхностей, приводящих к увеличению контактного сопротивления в местах контактирования;

- сильного искрения нормальных рабочих контактов при удалении

искрогасительных или дугогасительных устройств;

искрения при электрическом пробое проводов на корпус, снижении электроизоляционных качеств конструктивных элементов от локального воздействия влаги, загрязнений, старения.

4. Загорания от предохранителей в результате:

нагрева в местах рабочих контактов от снижения контактного давления и возрастания переходного сопротивления;

нагрева в местах рабочих контактов от окисления контактных поверхностей и возрастания переходного сопротивления;

разлетания частиц расплавленного металла плавкой вставки при разрушении корпуса предохранителя, вызванного применением нестандартных плавких вставок («жучков»);

разлетания частиц расплавленного металла нестандартных открытых плавких вставок.

Пожарная опасность аппаратов пуска, переключения, управления, защиты

Как показывает статистика, более 20 % всех пожаров, связанных с эксплуатацией электроустановок, приходится на электрические аппараты управления, регулирования и защиты. На промышленных предприятиях в электроустановках широко применяются магнитные пускатели. В магнитном пускателе, из-за дефектов при изготовлении и неправильного режима эксплуатации возникают неисправности, как правило, в виде чрезмерного повышения температуры деталей. Недопустимое повышение температуры катушки в большинстве случаев связано с появлением в ней междувитковых КЗ. Экспериментально установлено, что причиной повышенного нагрева катушки может быть также увеличение напряжения сети выше допустимого предела (105 % номинального). Чрезмерный нагрев токоведущих частей получается при перегрузке пускателя, ослаблении затяжки контактных соединений, загрязнении контактных поверхностей и износе главных контактов. Для защиты от токов КЗ и значительных перегрузок на отходящих линиях силовых трансформаторов, батарей статических конденсаторов электродвигателей, светильников и других электроустановок применяют в основном плавкие предохранители и воздушные автоматические выключатели. Плавкий предохранитель состоит из металлической плавкой вставки, поддерживающего ее контактного устройства и корпуса. Некоторые

предохранители имеют также устройства для гашения дуги, образующейся при расплавлении плавкой вставки. При увеличении тока в цепи до определенного значения плавкая вставка предохранителя нагревается до температуры плавления металла и расплавляется (перегорает), отключая перегруженную или закороченную цепь. Чем больше ток, проходящий через плавкую вставку, тем она быстрее расплавляется и отключает цепь. Пожарная опасность аппаратов защиты заключается в появлении электрической дуги и искрообразования при перегорании плавкой вставки, а также в возможности нагрева токоведущих частей при нарушении плотности контактов. Часто пожары являются результатом ненадежной работы аппаратов защиты и наличия плавких вставок завышенного сечения.

Причины возгораний в электронагревательных приборах, аппаратах, установках

1. Перегрев приборов, аппаратов, установок от замыкания электронагревательных элементов в результате:

разрушения электроизоляции конструктивных элементов от старения;
разрушения электроизоляционных элементов от внешнего механического воздействия;

наслаивания токопроводящего загрязнения между токоведущими конструктивными элементами;

случайного попадания токопроводящих предметов и замыкания токоведущих электронагревательных элементов;

ослабления контактного давления в местах подключения токопроводящих проводников, элементов, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления;

окисления в местах подсоединения токопроводящих проводников элементов, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления;

пробоя электроизоляции конструктивных элементов повышенным напряжением питания;

выкипания нагреваемой воды (жидкости), приводящего к деформации конструктивных элементов, электрическому замыканию и разрушению конструкции нагревателя в целом.

2. Загорания от электронагревательных приборов, аппаратов, установок в результате:

соприкосновения горючих материалов (предметов) с нагревательными поверхностями электронагревательных приборов, аппаратов, установок;

теплового облучения горючих материалов (предметов) от электронагревательных приборов, аппаратов, установок.

Пожарная опасность электронагревательных приборов

Как правило связана с нарушением условий эксплуатации приборов – расположением вблизи от нагревательного прибора легко возгораемых материалов, способных воспламениться при нагреве до температур, достижимых нагревательными приборами. Также зачастую причиной возгораний является перегрузка сети по току путем включения одного или нескольких нагревательных приборов, потребляющих из сети ток, превышающий допустимые значения для используемых проводов, кабелей или электроустановочных изделий.

Причины возгораний комплектующих элементов

Перегрев от коротких замыканий в результате:

электрического пробоя диэлектрика в конструкции комплектующего элемента, приводящего к перегрузке по току;

снижения электроизоляционных свойств конструкционных материалов от старения;

ухудшения теплоотвода при неправильной установке и (или) эксплуатации;

повышенного рассеяния мощности из-за изменения электрического режима при отказе «прилегающих» комплектующих элементов;

образования электрических цепей, не предусмотренных конструкцией.

2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ И ПАРОВ ЛВЖ С ВОЗДУХОМ НА КАТЕГОРИИ И ГРУППЫ

Взрывоопасные смеси с воздухом могут образовывать горючие газы и пары легковоспламеняющихся жидкостей (а в некоторых случаях и горючих жидкостей), горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения не более 65 г/м^3 .

Согласно Правил устройства электроустановок [1], *легковоспламеняющаяся жидкость* (ЛВЖ) - жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше $61 \text{ }^\circ\text{C}$. К взрывоопасным относятся ЛВЖ, у которых температура вспышки не превышает $61 \text{ }^\circ\text{C}$, а давление паров при температуре 20°C составляет менее 100 кПа (около 1 ат).

Горючая жидкость-жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше $61 \text{ }^\circ\text{C}$. Горючие жидкости с температурой вспышки выше $61 \text{ }^\circ\text{C}$ относятся к пожароопасным, но, нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше, относятся к взрывоопасным.

Взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом подразделяются на категории согласно ГОСТ Р 51330.11-99 [2] в зависимости от размера безопасного экспериментального максимального зазора (таблица 1).

Таблица 2.1

Категории взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом

Категория смеси	Наименование смеси	БЭМЗ, мм
I	Рудничный метан	Более 1,0
II	Промышленные газы и пары	-
IIА	То же	Более 0,9
IIВ	" "	Более 0,5 до 0,9
IIС	" "	До 0,5

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.

Взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом в зависимости от температуры самовоспламенения подразделяются на шесть групп согласно ГОСТ Р 51330.9-99 [3] (таблица 2).

Таблица 2.2

Группы взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом по температуре самовоспламенения

Группа	Температура самовоспламенения смеси, °С	Группа	Температура самовоспламенения смеси, °С
T1	Выше 450	T4	Выше 135 до 200
T2	" 300 до 450	T5	" 100 до 135
T3	" 200 до 300	T6	" 85 до 100

Распределение взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом по категориям и группам приведено в таблице 3.

Таблица 2.3

Распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам

Кат. смеси	Гр. смеси	Вещества, образующие с воздухом взрывоопасную смесь
I	T1	Метан (рудничный)
IIА	T1	Аммиак, аллил хлоридный, ацетон, ацетонитрил, бензол, бензотрифторид, винил хлористый, винилиден хлористый, 1,2-дихлорпропан, дихлорэтан, диэтиламин, диизопропиловый эфир, доменный газ, изобутилен, изобутан, изопропилбензол, кислота уксусная, ксилол, -метилстирол, метил хлористый, метан (промышленный)**, метилацетат, метилизоцианат, метил-хлорформиат, метилциклопропил-кетон, метилэтилкетон, окись углерода, пропан, пиридин, растворители Р-4, Р-5 и РС-1, разбавитель РЭ-1, сольвент нефтяной, стирол, спирт диацетоновый, толуол, трифторхлорпропан, трифторпропен, трифторэтан, трифторхлорэтилен, триэтиламин, хлорбензол, циклопентадиен, этан, этил хлористый
	T2	Алкилбензол, амилацетат, ангидрид уксусный, ацетилацетон, ацетил хлористый, ацетопропилхлорид, бензин Б95/130, бутан, бутилацетат, бутилпропионат, винулацетат, винилиден фтористый, диатол, диизопропиламин, диметиламин, диметилформамид, изопентан, изопрен, изопропиламин, изооктан, кислота пропионовая, метиламин, метилизобутилкетон, метилметакрилат, метилмеркаптан, метилтрихлорсилан, 2-метилтиофен, метилфуран, моноизобутиламин, метилхлорметилдихлорсилан, окись мезитила, пентадиен-1,3, пропиламин, пропилен. Растворители: № 646, 647, 648, 649, РС-2, БЭФ и АЭ. Разбавители: РДВ, РКБ-1, РКБ-2. Спирты: бутиловый нормальный, бутиловый третичный, изоамиловый, изобутиловый, изопропиловый, метиловый, этиловый. Трифторпропилметилдихлорсилан, трифторэтилен, трихлорэтилен, изобутил хлористый, этиламин, этилацетат, этилбутират, этилендиамин, этиленхлоргидрин, этилизобутират, этилбензол, циклогексанол, циклогексанон
IIА	T3	Бензины: А-66, А-72, А-76, "галоша", Б-70, экстракционный по ТУ 38.101.303-72, экстракционный по МРТУ12Н-20-63. Бутилметакрилат, гексан, гептан, диизобутиламин, дипропиламин, альдегид изовалериановый, изооктилен, камфен, керосин, морфолин, нефть, эфир петролейный, полиэфир ТГМ-3, пентан, растворитель № 651, скипидар,

		спирт амиловый, триметиламин, топливо Т-1 и ТС-1, уайт-спирит, циклогексан, циклогексиламин, этилдихлортиофосфат, этилмеркаптан
	T4	Ацетальдегид, альдегид изомасляный, альдегид масляный, альдегид пропионовый, декан, тетраметилдиаминометан, 1,1,3-триэтоксипутан
	T5	-
	T6	-
ПВ	T1	Коксовый газ, синильная кислота
	T2	Дивинил, 4,4-диметилдиоксан, диметилдихлорсилан, диоксан, диэтилдихлорсилан, камфорное масло, кислота акриловая, метилакрилат, метилвинилдихлорсилан, нитрил акриловой кислоты, нитроциклогексан, окись пропилена, окись-2-метилбутена-2, окись этилена, растворители АМР-3 и АКР, триметилхлорсилан, формальдегид, фуран, фурфурол, эпихлоргидрин, этилтрихлорсилан, этилен
	T3	Акролеин, винилтрихлорсилан, сероводород, тетрагидрофуран, тетраэтоксилан, триэтоксисилан, топливо дизельное, формальгликоль, этилдихлорсилан, этилцеллозольв
	T4	Дибутиловый эфир, диэтиловый эфир, диэтиловый эфир этиленгликоля
	T5	-
	T6	-
ПС	T1	Водород, водяной газ, светильный газ, водород 75% + азот 25%
	T2	Ацетилен, метилдихлорсилан
	T3	Трихлорсилан
	T4	-
	T5	Сероуглерод
	T6	-

3 МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

По конструктивному исполнению электрооборудование подразделяется на электрооборудование общего назначения и взрывозащищенное электрооборудование.

Электрооборудование общего назначения - электрооборудование, выполненное без учета требований, специфических для определенного назначения, определенных условий эксплуатации.

Взрывозащищенное электрооборудование - электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры по устранению или затруднению возможности воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого электрооборудования.

3.1 Маркировка электрооборудования общего назначения

Электрооборудование общего назначения классифицируется по степени защиты от взаимодействия с окружающей средой.

На корпусе или табличке с паспортными данными наносятся условные обозначения: IP □□. Например: IP 13, IP 45 и т.д.

Буквы IP обозначают - International Protection.

Первая цифра показывает защиту от попадания внутрь оболочки твердых тел, вторая – воды.

Степень защиты электрооборудования от попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел по ГОСТ 14254 – 96 приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Степень защиты электрооборудования от попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел

1-я цифра	Степень защиты
0	Нет защиты
1	Защита от попадания твердых посторонних тел диаметром $d \geq 50$, 5 мм
2	То же, $d \geq 12,5$ мм
3	То же, $d \geq 2,5$ мм
4	То же, $d \geq 1$ мм
5	Защита от вредного проникновения пыли, которая не предотвращается полностью
6	Полная защита от проникновения пыли

Степень защиты электрооборудования от попадания внутрь оболочки воды по ГОСТ 14254 – 96 приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Степень защиты электрооборудования от попадания внутрь оболочки воды

Вторая цифра	Степень защиты
0	Защита отсутствует
1	Защита от вертикально падающих капель
2	Защита от капель, падающих под углом 15°
3	Защита от капель, падающих под углом до 60°
4	Защита от брызг любого направления
5	Защита от водяных струй любого направления
6	Защита от морской волны
7	Защита при погружении в воду (при определенном давлении и времени погружении)
8	Защита при неограниченно долгом погружении в воду при определенном давлении

3.2 Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ

Применение во взрывоопасных зонах электрооборудования общепромышленного исполнения недопустимо, так как электрооборудование может искрить, нагреваться до опасных температур и явиться причиной пожара или взрыва. Поэтому во взрывоопасных зонах (за небольшим исключением) следует применять специальное взрывозащищенное электрооборудование.

Согласно ПУЭ, взрывозащищенное электрооборудование подразделяется по уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам.

Уровень взрывозащиты электрооборудования – это степень его взрывозащиты (надежности) при установленных нормативными документами условиях. Существуют три уровня взрывозащиты электрооборудования: электрооборудование *повышенной надежности против взрыва*, *взрывобезопасное* электрооборудование, *особовзрывобезопасное* электрооборудование.

Уровень "**электрооборудование повышенной надежности против взрыва**" - взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается только в признанном нормальном режиме работы. Знак уровня - **2**.

Уровень "взрывобезопасное электрооборудование" - взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты. Знак уровня - **1**.

Уровень "особовзрывобезопасное электрооборудование" - взрывозащищенное электрооборудование, в котором по отношению к взрывобезопасному электрооборудованию приняты дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартами на виды взрывозащиты. Знак уровня - **0**.

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

Вид взрывозащиты электрооборудования – совокупность средств его взрывозащиты, установленная нормативными документами. Под средством взрывозащиты электрооборудования понимается конструктивное (или схемное) решение для обеспечения его взрывозащиты.

Взрывозащищенное электрооборудование может иметь следующие виды взрывозащиты:

Таблица 3.3

Виды взрывозащиты оборудования

Взрывонепроницаемая оболочка	d
Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением защитным газом	p
Искробезопасная электрическая цепь	i
Кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями	q
Масляное заполнение оболочки с токоведущими частями	o
Специальный вид взрывозащиты	s
Защита вида "е"	e
Герметизация компаундом	m

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

Электрооборудование повышенной надежности против взрыва может обеспечиваться: взрывозащитой вида "i" с уровнем искробезопасной электрической цепи "ic" и выше; взрывозащитой вида "p", имеющей

устройство сигнализации о недопустимом снижении давления; взрывозащитой вида “q”; защитой вида “e”; защитой вида “m”; взрывозащитой вида “d” для электрооборудования повышенной надежности против взрыва; масляным заполнением для электрооборудования группы II и заполнением негорючей жидкостью для электрооборудования группы I оболочек, удовлетворяющих требованиям взрывозащиты вида “o”; взрывозащитой вида “s”.

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

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

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения подразделяется на две **группы** (таблица 3.4).

Таблица 3.4

Группы взрывозащищенного электрооборудования по области его применения

Электрооборудование	Знак группы
Рудничное, предназначенное для подземных выработок шахт и рудников	I
Для внутренней и наружной установки (кроме рудничного)	II

Электрооборудование группы II в зависимости от значения предельной температуры подразделяется на шесть **температурных классов**, соответствующих группам взрывоопасных смесей (таблица 3.5). **Предельная температура** - наибольшая температура поверхностей взрывозащищенного электрооборудования, безопасная в отношении воспламенения окружающей среды.

Таблица 3.5

Температурные классы электрооборудования группы II

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

Рассмотренная классификация взрывозащищенного электрооборудования и знаки обозначения его уровней, видов, групп и подгрупп, а так же температурных классов позволяют выполнять **маркировку** взрывозащиты.

В зависимости от класса взрывоопасной зоны может применяться то или иное по уровню и виду взрывозащищенное электрооборудование, а в отдельных случаях и электрооборудование общего назначения, но с определенной степенью защиты оболочки.

Маркировка электрооборудования по взрывозащите является характеристикой особенностей национальных правил изготовления взрывозащищенного электрооборудования и служит для оперативной оценки области его применения во взрывоопасных зонах. Опыт применения отечественного и зарубежного взрывозащищенного электрооборудования показал, что наличие индивидуальной для каждого национального стандарта маркировки по взрывозащищенности создавало некоторые затруднения и являлось нежелательным в проектной и эксплуатационной практике.

Согласно стандарта, в маркировку по взрывозащите электрооборудования группы II в указанной последовательности входят:

- знак уровня взрывозащиты электрооборудования (2, 1, 0);

- общий знак Ex (Explosionproof – взрывозащищенный), указывающий на соответствие электрооборудования стандартам на взрывозащищенное электрооборудование;
- знак вида взрывозащиты (d, p, i, q, o, s, e, m);
- знак группы или подгруппы электрооборудования и категории взрывоопасной смеси (II, IIA, IIB, IIC);
- знак температурного класса электрооборудования (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

Схема маркировки взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ

1	Ex	2	3	4
2		d	II	T1
1		p	IIA	T2
0		i	IIB	T3
		q	IIC	T4
		o		T5
		s		T6
		e		
		m		

- 1 - уровень взрывозащиты электрооборудования;
- 2 - вид взрывозащиты электрооборудования;
- 3 - знак группы (подгруппы) электрооборудования;
- 4 – температурный класс электрооборудования.

Например: 2ExeIIТ4 – повышенной надежности против взрыва, защита вида «е», группа II, температурный класс Т4.

4 НОРМАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССОВ ПОЖАРООПАСНЫХ И ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

Нормативное определение классов пожароопасных и взрывоопасных зон производится согласно Правил устройства электроустановок [1] (п.7.4.3-7.4.6 - пожароопасные зоны, п.7.3.40—7.3.46 - взрывоопасные зоны).

4.1 Классификация пожароопасных зон

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

Зоны класса **П-I** — зоны, расположенные в помещениях в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С

Зоны класса **П-II** — зоны, расположенные в помещениях в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха.

Зоны класса **П-IIa** — зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.

Зоны класса **П-III** — расположенные вне помещения зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Наиболее опасными являются зоны классов П-I и П-II.

Зоны в помещениях и зоны наружных установок в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от аппарата, в которых постоянно или периодически обращаются горючие вещества, но технологический процесс ведется с применением открытого огня, раскаленных частей либо технологические аппараты имеют поверхности, нагретые до температуры самовоспламенения горючих паров, пылей или волокон не относятся в части их электрооборудования к пожароопасным.

Также не относятся в части их электрооборудования к пожароопасным зоны в помещениях и зоны наружных установок, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания,

Зоны в помещениях вытяжных вентиляторов, а также в помещениях приточных вентиляторов (если приточные системы работают с применением рециркуляции воздуха), обслуживающих помещения с пожароопасными зонами класса П-П, относятся также к пожароопасным зонам класса П-П.

Зоны в помещениях вентиляторов местных отсосов относятся к пожароопасным зонам того же класса, что и обслуживаемая ими зона.

Для вентиляторов, установленных за наружными ограждающими конструкциями и обслуживающих пожароопасные зоны класса П-П и пожароопасные зоны любого класса местных отсосов, электродвигатели выбираются как для пожароопасной зоны класса П-П.

4.2 Классификация взрывоопасных зон

Взрывоопасная зона – помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси.

Взрывоопасные зоны делятся на 6 классов. Для горючих газов и паров ЛВЖ предусмотрены 4 класса: В-І, В-Іа, В-Іб, В-Іг. Для взрывоопасных пылей предусмотрены 2 класса: В-П и В-Па.

При определении взрывоопасных зон принимается, что:

а) взрывоопасная зона в помещении занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси превышает 5 % свободного объема помещения;

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

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

Зоны класса **В-Ia** — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

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

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

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

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

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

горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

Зоны класса **В-Iг** — пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок), надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

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

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

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

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

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

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

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

Эстакады с закрытыми сливно-наливными устройствами, эстакады и опоры под трубопроводы для горючих газов и ЛВЖ не относятся к взрывоопасным, за исключением зон в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры и фланцевых соединений трубопроводов, в пределах которых электрооборудование должно быть взрывозащищенным для соответствующих категории и группы взрывоопасной смеси.

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

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

Наиболее опасными являются зоны классов В-I и В-II.

Зоны в помещениях **вытяжных вентиляторов**, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, относятся к взрывоопасным зонам того же класса, что и обслуживаемые ими зоны.

Для вентиляторов, установленных за наружными ограждающими конструкциями и обслуживающих взрывоопасные зоны классов В-I, В-Ia, В-II, электродвигатели применяются как для взрывоопасной зоны класса В-Iг, а для вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны классов В-Iб и В-IIa, — согласно таблице 13 для этих классов.

Зоны в помещениях **приточных вентиляторов**, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, не относятся к взрывоопасным, если приточные воздуховоды оборудованы самозакрывающимися обратными клапанами, не допускающими проникновения взрывоопасных смесей в помещения приточных вентиляторов при прекращении подачи воздуха.

При отсутствии обратных клапанов помещения приточных вентиляторов имеют взрывоопасные зоны того же класса, что и обслуживаемые ими зоны

Класс зоны помещения, смежного со взрывоопасной зоной другого помещения

Класс взрывоопасной зоны	Класс зоны помещения, смежного со взрывоопасной зоной другого помещения и отделенного от нее	
	стеной (перегородкой) с дверью, находящейся во взрывоопасной зоне	стеной (перегородкой без проемов или с проемами, оборудованными тамбур-шлюзами, или с дверями, находящимися вне взрывоопасной зоны
В-I	В-Ia	Невзрыво- и непожароопасная
В-Ia	В-Iб	То же
В-Iб	Невзрыво- непожароопасная	и ” ”
В-II	В-IIa	” ”
В-IIa	Невзрыво- непожароопасная	и ” ”

4.3 АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

Размеры взрывоопасной зоны в помещении зависят от относительного объема взрывоопасной смеси. Методика расчета относительного объема взрывоопасной смеси основана на уравнениях, приведенных в НПБ 105-03 [10]. Методика заключается в следующем.

1. Расчет свободного объема помещения

Свободный объем помещения $V_{\text{св}}$ определяется в зависимости от геометрических размеров помещения и объема технологического оборудования. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80% геометрического объема помещения (п.9 [6]).

2. Расчет массы ЛВЖ, поступившей в помещение в результате аварии.

Масса ЛВЖ $m_{\text{п}}$ складывается из двух компонентов:

$$m_{\text{п}} = m_{\text{а}} + m_{\text{к}}, \quad (4.1)$$

где $m_{\text{а}}$ – масса жидкости, выходящей при аварии из аппарата и трубопроводов, кг; $m_{\text{к}}$ – масса жидкости, поступившей в помещение до закрытия задвижки, кг.

$$m_{\text{а}} = [V_{\text{а}} \cdot E_{\text{а}} + 7,85 \cdot 10^{-7} (l_{\text{н}} \cdot d_{\text{н}}^2 + l_{\text{о}} \cdot d_{\text{о}}^2)] \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad (4.2)$$

где V_a – объем аппарата, м^3 ; E_a – степень заполнения аппарата жидкостью; l_n, d_n – длина (м) и диаметр (мм) подводящего трубопровода; l_o, d_o – длина (м) и диаметр (мм) отводящего трубопровода; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

$$m_k = q \cdot \tau_3 \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad (4.3)$$

где q – производительность насоса, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; τ_3 – время закрытия задвижки, с.

Нормативное время ручного закрытия задвижки составляет 300 с (п.7 [10]).

В случае, если какие-либо аппараты отсутствуют, а длина трубопроводов проектируется минимальной, m_a можно принять равной нулю (например, для насосных станций по перекачке ЛВЖ).

3. Расчет массы паров ЛВЖ, испарившейся с поверхности разлива

Масса паров ЛВЖ, испарившихся с поверхности разлива в результате расчетной аварии в помещение рассчитывается по формуле (п.14 [10])

$$m_{\text{и}} = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T_{\text{и}}, \quad (4.4)$$

где W – интенсивность испарения, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; $F_{\text{и}}$ – площадь испарения, м^2 ; $T_{\text{и}}$ – время испарения ЛВЖ, с.

Интенсивность испарения W определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать W по формуле (п.16 [6])

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}, \quad (4.5)$$

где η – коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения; M – молярная масса, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $P_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре t_p .

Значение коэффициента η принимается по таблице 3 [10]. При этом скорость воздушного потока в помещении u , $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, можно определить по формуле

$$u = A_{\text{в}} \cdot l, \quad (4.6)$$

где A_B – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с^{-1} ; l – длина помещения, м.

В случае упрощения расчетов допускается принимать $\eta = 1$.

Давление насыщенного пара при расчетной температуре рассчитывается по уравнению Антуана

$$P_H = 10 \frac{A - \frac{B}{C_A + t_p}}{C_A + t_p} \quad (4.7)$$

где A , B , C_A – константы Антуана согласно справочника [55]; t_p – расчетная температура жидкости, $^{\circ}\text{C}$.

Площадь испарения $F_{\text{и}}$ согласно [10], определяется в зависимости от массы ЛВЖ $m_{\text{п}}$, поступившей в помещение в результате аварии. При этом исходят из того, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70% и менее (по массе) растворителей, разливается на площадь $0,5 \text{ м}^2$, а остальных жидкостей – на 1 м^2 пола помещения.

Расчет площади разлива ЛВЖ производится по формуле

$$S_p = f \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{жс}}}, \quad (4.8)$$

где f – коэффициент растекаемости, который выбирается в зависимости от процентного содержания растворителя в растворе по правилу: если содержание растворителя больше 70%, то $f = 1000$, если меньше или равно 70%, то $f = 500$.

Таким образом, площадь испарения равна площади помещения $F_{\text{и}} = S$, если $S_p \geq S$ и равна площади разлива $F_{\text{и}} = S_p$, если $S_p < S$.

Время испарения ЛВЖ $T_{\text{и}}$ принимается согласно [10] равным времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Время полного испарения ЛВЖ рассчитывается по формуле

$$\tau_n = \frac{m_n}{W \cdot F_{\text{и}}} \quad (4.9)$$

Если в помещении работает вентиляция, то при расчете величины испарившейся жидкости значение массы $m_{\text{и}}$ необходимо разделить на коэффициент K , определяемый по формуле [10]

$$K = A_B \cdot T + 1, \quad (4.10)$$

где A_B – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, c^{-1} ; T – продолжительность поступления паров ЛВЖ в объем помещения, с (согласно [10] принимается равным времени испарения).

Тогда, с учетом работы вентиляции, масса паров ЛВЖ, испарившихся с поверхности разлива в результате расчетной аварии в помещении

$$m_u^* = \frac{m_u}{K} \quad (4.11)$$

4. Определение расчетного объема взрывоопасной смеси

Расчетный объем взрывоопасной смеси, в котором поступившее в помещение вещество может образовать взрывоопасную концентрацию на нижнем пределе воспламенения, определяется по формуле

$$V_{расч.в.с.} = 1,5 \frac{m}{\varphi_H} , \quad (4.12)$$

где 1,5 – коэффициент запаса; m – масса поступивших в помещение веществ в результате возможной аварии, г (при выполнении курсовой работы можно принять $m = m_u^*$); φ_H – нижний концентрационный предел воспламенения, $г \cdot м^{-3}$.

Если в исходных данных НКПВ φ_H приведен в (%), то перевод его размерности в ($г \cdot м^{-3}$) необходимо выполнить по формуле

$$\varphi_H = \frac{10 \cdot M \cdot \varphi_H(\%)}{V_0} , \quad (4.13)$$

где M – молярная масса, $кг \cdot моль^{-1}$; V_0 – мольный объем, равный $22,413 м^3 \cdot кмоль^{-1}$.

5. Расчет относительного объема взрывоопасной смеси

$$B = \frac{V_{расч.в.с.}}{V_{св}} \cdot 100\% \quad (4.14)$$

Согласно п.7.3.39 [1], взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5 % свободного объема помещения. Если объем взрывоопасной смеси превышает 5 %

свободного объема помещения, то взрывоопасная зона занимает весь объем помещения.

5 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОН

5.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины с классами напряжения до 10 кВ при условии, что их оболочки имеют степень защиты по ГОСТ 17494-72.

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины, продуваемые чистым воздухом с вентиляцией по замкнутому или разомкнутому циклу. При вентиляции по замкнутому циклу в системе вентиляции должно быть предусмотрено устройство для компенсации потерь воздуха и создания избыточного давления в машинах и воздуховодах.

Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой машины устанавливаются.

До освоения электропромышленностью крупных синхронных машин, машин постоянного тока и статических преобразовательных агрегатов в оболочке со степенью защиты IP44 допускается применять в пожароопасных зонах класса П-Па машины и агрегаты со степенью защиты оболочки не менее IP20.

Воздух для вентиляции электрических машин не должен содержать паров и пыли горючих веществ. Выброс отработавшего воздуха при разомкнутом цикле вентиляции в пожароопасную зону не допускается.

Таблица 5.1.

Минимальные допустимые степени защиты оболочек электрических машин в зависимости от класса пожароопасной зоны

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 искрящими частями по условиям работы	IP44	IP54*	IP44	IP44
Стационарно установленные машины, не искрящие и без искрящих частей по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Машины с частями, искрящими и не искрящими по условиям работы, установленные на передвижных механизмах и установках (краны, тельферы, электротележки и т. п.)	IP44	IP54*	IP44	IP44

До освоения электропромышленностью машин со степенью защиты оболочки IP54 могут применяться машины со степенью защиты оболочки IP44.

Электрооборудование переносного электрифицированного инструмента в пожароопасных зонах любого класса должно быть со степенью защиты оболочки не менее IP44; допускается степень защиты оболочки IP33 при условии выполнения специальных технологических требований к ремонту оборудования в пожароопасных зонах.

Электрические машины с частями, нормально искрящими по условиям работы (например, электродвигатели с контактными кольцами), должны располагаться на расстоянии не менее 1 м от мест размещения горючих веществ или отделяться от них несгораемым экраном.

Для механизмов, установленных в пожароопасных зонах, допускается применение электродвигателей с меньшей степенью защиты оболочки при следующих условиях:

электродвигатели должны устанавливаться вне пожароопасных зон; привод механизма должен осуществляться при помощи вала, пропущенного через стену, с устройством в ней сальникового уплотнения.

5.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ

В пожароопасных зонах могут применяться электрические аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов, имеющие степень защиты оболочки по ГОСТ 14255-69.

Таблица 5.2.

Минимальные допустимые степени защиты оболочек электрических аппаратов, приборов, шкафов и сборок зажимов в зависимости от класса пожароопасной зоны

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

** При установке в них аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы. До освоения электропромышленностью шкафов со степенью*

защиты оболочки IP54 могут применяться шкафы со степенью защиты оболочки IP44.

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

Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой аппараты и приборы устанавливаются.

Аппараты и приборы, устанавливаемые в шкафах, могут иметь меньшую степень защиты оболочки.

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов, продуваемые чистым воздухом под избыточным давлением.

В пожароопасных зонах любого класса могут применяться аппараты и приборы в маслonaполненном исполнении (за исключением кислородных установок и подъемных механизмов, где применение этих аппаратов и приборов запрещается).

Щитки и выключатели осветительных сетей рекомендуется выносить из пожароопасных зон любого класса, если это не вызывает существенного удорожания и расхода цветных металлов.

Электроустановки запираемых складских помещений, в которых есть пожароопасные зоны любого класса, должны иметь аппараты для отключения извне силовых и осветительных сетей независимо от наличия отключающих аппаратов внутри помещений. Отключающие аппараты должны быть установлены в ящике из негоряемого материала с приспособлением для пломбирования на ограждающей конструкции из негоряемого материала, а при ее отсутствии — на отдельной опоре.

Отключающие аппараты должны быть доступны для обслуживания в любое время суток.

Если в пожароопасных зонах любого класса по условиям производства необходимы электронагревательные приборы, то нагреваемые рабочие части их должны быть защищены от соприкосновения с горючими веществами, а сами приборы установлены на поверхности из негорючего материала. Для защиты от теплового излучения электронагревательных приборов необходимо устанавливать экраны из негоряемых материалов.

В пожароопасных зонах любого класса складских помещений а также в зданиях архивов, музеев, галерей, библиотек (кроме специально предназначенных помещений, например буфетов) применение электронагревательных приборов запрещается.

5.3 РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

Установка РУ до 1 кВ и выше в пожароопасных зонах любого класса не рекомендуется.

В пожароопасных зонах любого класса, за исключением пожароопасных зон в складских помещениях, а также зданий и помещений архивов, музеев, картинных галерей, библиотек, допускается на участках, огражденных сетками, открытая установка КТП, КПП с трансформаторами сухими или с негорючим заполнением, а также комплектных конденсаторных установок (ККУ) с негорючим заполнением конденсаторов. При этом степень защиты оболочки шкафов КТП, КПП и ККУ должна быть не менее IP41.

В пожароопасных зонах любого класса, за исключением пожароопасных зон в складских помещениях, а также помещений архивов, музеев, картинных галерей, библиотек, могут размещаться встроенные или пристроенные КТП и КПП с маслонаполненными трансформаторами и подстанции с маслонаполненными трансформаторами в закрытых камерах.

Подстанции с маслонаполненными трансформаторами могут быть встроенными или пристроенными при выполнении следующих условий:

1. Двери и вентиляционные отверстия камер трансформаторов с масляным заполнением не должны выходить в пожароопасные зоны.

2. Отверстия в стенах и полу в местах прохода кабелей и труб электропроводки должны быть плотно заделаны несгораемыми материалами.

3. Выход из подстанции с маслонаполненными трансформаторами, установленными в камерах, в пожароопасную зону может быть выполнен только из помещения РУ до 1 кВ. При этом дверь должна быть самозакрывающейся и иметь предел огнестойкости не менее 0,6 ч.

4. Выход из помещений КТП и КПП в пожароопасную зону а также транспортировка трансформаторов КТП и КПП через пожароопасную зону допускаются. При этом дверь предусматривается как указано в п. 3, а ворота — с пределом огнестойкости не менее 0,6 ч.

Примечание. РУ, ТП, ПП считаются встроенными, если имеют две или три стены (перегородки), общие со смежными помещениями с пожароопасными зонами, и пристроенными, если имеют только одну стену (перегородку), общую с указанными помещениями.

Электрооборудование с масляным заполнением (трансформаторы, батареи конденсаторов, выключатели и т. п.) может устанавливаться на расстоянии не менее 0,8 м от наружной стены здания с пожароопасными зонами при условии, что расстояние по горизонтали и вертикали от проемов в стене здания до установленного электрооборудования будет не менее 4 м.

5.4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВЕТИЛЬНИКИ

В пожароопасных зонах должны применяться светильники имеющие степень защиты не менее указанной в табл. 7.4.3.

Таблица 5.3.

Минимальные допустимые степени защиты светильников в зависимости от класса пожароопасной зоны

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

Примечание. Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники.

Конструкция светильников с лампами ДРЛ должна исключать выпадание из них ламп. Светильники с лампами накаливания должны иметь сплошное силикатное стекло, защищающее лампу. Они не должны иметь отражателей и рассеивателей из сгораемых материалов. В пожароопасных зонах любого класса складских помещений светильники с люминесцентными лампами не должны иметь отражателей и рассеивателей из горючих материалов.

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

Переносные светильники в пожароопасных зонах любого класса должны иметь степень защиты не менее IP54; стеклянный колпак светильника должен быть защищен металлической сеткой.

5.5 ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ, ТОКОПРОВОДЫ, ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

В пожароопасных зонах любого класса кабели и провода должны иметь покров и оболочку из материалов, не распространяющих горение. Применение кабелей с горючей полиэтиленовой изоляцией не допускается.

Через пожароопасные зоны любого класса, а также на расстояниях менее 1 м по горизонтали и вертикали от пожароопасной зоны запрещается прокладывать не относящиеся к данному технологическому процессу (производству) транзитные электропроводки и кабельные линии всех напряжений.

В пожароопасных зонах любого класса применение неизолированных проводов запрещается.

В пожароопасных зонах любого класса разрешаются все виды прокладок кабелей и проводов. Расстояние от кабелей и изолированных проводов, прокладываемых открыто непосредственно по конструкциям, на изоляторах, лотках, тросах и т. п. до мест открыто хранимых (размещаемых) горючих веществ, должно быть не менее 1 м.

Прокладка незащищенных изолированных проводов с алюминиевыми жилами в пожароопасных зонах любого класса должна производиться в трубах и коробах.

По эстакадам с трубопроводами с горючими газами и жидкостями, проходящим по территории с пожароопасной зоной класса II-III, допускается прокладка изолированных проводов в стальных трубах, небронированных кабелей в стальных трубах и коробах, бронированных кабелей открыто. При этом стальные трубы электропроводки, стальные трубы и короба с небронированными кабелями и бронированные кабели следует прокладывать на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов, по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами.

Для передвижных электроприемников должны применяться переносные гибкие кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией, в оболочке, стойкой к окружающей среде.

Соединительные и ответвительные коробки, применяемые в электропроводках в пожароопасных зонах любого класса, должны иметь степень защиты оболочки не менее IP43. Они должны изготавливаться из стали или другого прочного материала, а их размеры должны обеспечивать удобство монтажа и надежность соединения проводов.

Части коробок, выполненные из металла, должны иметь внутри изолирующую выкладку или надежную окраску. Пластмассовые части, кроме применяемых в групповой сети освещения, должны быть изготовлены из трудногорючей пластмассы.

В пожароопасных зонах классов П-I, П-II и П-III допускается применение шинопроводов до 1 кВ с медными и алюминиевыми шинами со степенью защиты IP20 и выше, при этом в пожароопасных зонах П-I и П-II все шины, в том числе и шины ответвления, должны быть изолированными. В шинопроводах со степенью защиты IP54 и выше шины допускается не изолировать.

Неразборные контактные соединения шин должны быть выполнены сваркой, а разборные соединения — с применением приспособлений для предотвращения самоотвинчивания.

Температура всех элементов шинопроводов, включая ответвительные коробки, устанавливаемые в пожароопасных зонах класса П-I, не должна превышать 60°C.

Таблица 5.4.

Открытые наземные склады хранения горючих материалов и веществ, готовой продукции и оборудования

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

Ответвительные коробки с коммутационными и защитными аппаратами, а также разъемные контактные соединения допускается применять в пожароопасных зонах всех классов. При этом ответвительные коробки, установленные на шинопроводах, включая места ввода

кабелей (проводов) и места соприкосновения с шинопроводами, должны иметь степень защиты IP44 и выше для пожароопасных зон классов П-I и П-IIа, IP54 и выше для зон класса П-II.

Таблица 5.5.

Наименьшее расстояние от оси ВЛ до 1 кВ с неизолированными проводами из алюминия, сталеалюминия или алюминиевых сплавов до границ открытых наземных складов, перечисленных в табл. 5.4

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)	31 (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

Для зон классов П-I и П-II должен быть обеспечен опережающий разрыв цепи ответвления в момент коммутации разъемных контактных соединений.

В помещениях архивов, музеев, картинных галерей, библиотек, а также в пожароопасных зонах складских помещений запрещается применение разъемных контактных соединений, за исключением соединений во временных сетях при показе экспозиций.

6 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

При выполнении экспертизы электрооборудования, установленного во взрывоопасных зонах, необходимо руководствоваться [1].

Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в химически активных, влажных или пыльных средах, должно быть также защищено соответственно от воздействия химически активной среды, сырости и пыли.

Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в наружных установках, должно быть пригодным также и для работы на открытом воздухе или иметь устройство для защиты от атмосферных воздействий (дождя, снега, солнечного излучения и т. п.).

Взрывозащищенное электрооборудование, выполненное для работы во взрывоопасной смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом, сохраняет свои свойства, если находится в среде с взрывоопасной смесью тех категорий и группы, для которых выполнена его взрывозащита, или находится в среде с взрывоопасной смесью, отнесенной согласно [1] к менее опасным категориям и группам.

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIa рекомендуется применять электрооборудование, предназначенное для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом. При отсутствии такого электрооборудования допускается во взрывоопасных зонах класса В-II применять взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом, а в зонах класса В-IIa - электрооборудование общего назначения (без взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли. При этом температура поверхности электрооборудования, на которую могут осесть горючие пыли или волокна, должна быть не менее чем на 50°C ниже температуры тления пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры самовоспламенения для нетлеющих пылей.

Выбор электрооборудования для работы во взрывоопасных зонах должен производиться по [1]. При необходимости допускается обоснованная замена электрооборудования, указанного в таблицах, электрооборудованием с более высоким уровнем взрывозащиты и более высокой степенью защиты оболочки. Например, вместо

электрооборудования уровня "повышенная надежность против взрыва" может быть установлено электрооборудование уровня "взрывобезопасное" или "особовзрывобезопасное".

В зонах, взрывоопасность которых определяется горючими жидкостями, имеющими температуру вспышки выше 61°C может применяться любое взрывозащитное электрооборудование для любых категорий и группы с температурой нагрева поверхности, не превышающей температуру самовоспламенения данного вещества.

6.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Во взрывоопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины с классом напряжения до 10 кВ при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты оболочки соответствуют таблице 6.1 или являются более высокими.

Таблица 6.1

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрических машин (стационарных и передвижных) в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
В-I	Взрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP44
В-II	Взрывобезопасное
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты IP54. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты IP54 .

Если отдельные части машины имеют различные уровни взрывозащиты или степени защиты оболочек, то все они должны быть не ниже указанных в таблице 6.1.

6.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ

Во взрывоопасных зонах могут применяться электрические аппараты и приборы при условии, что уровень их взрывозащиты или степень

защиты оболочки соответствуют таблице 6.2 или являются более высокими.

Таблица 6.2

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрических аппаратов и приборов в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
Стационарные установки	
В-I	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва - для аппаратов и приборов, искрящих или подверженных нагреву выше 80°C
	Без средств взрывозащиты - для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80°C. Оболочка со степенью защиты не менее IP54*
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44 *
В-II	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-IIa	Без средств взрывозащиты . Оболочка со степенью защиты не менее IP54 *
Установки передвижные или являющиеся частью передвижных и ручные переносные	
В-I, В-Ia	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасное особовзрывобезопасное
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54 *

* Степень защиты оболочки аппаратов и приборов от проникновения воды (2-я цифра обозначения) допускается изменять в зависимости от условий среды, и которой они устанавливаются.

Во взрывоопасных зонах классов В-Iб и В-IIa допускается применять соединители в оболочке со степенью защиты IP54 при условии, что разрыв у них происходит внутри закрытых розеток.

Установка соединителей допускается только для включения периодически работающих электроприемников (например, переносных светильников). Число соединителей должно быть ограничено необходимым минимумом, и они должны быть расположены в местах, где образование взрывоопасных смесей наименее вероятно.

6.3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВЕТИЛЬНИКИ

Во взрывоопасных зонах могут применяться электрические светильники при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты соответствуют таблице 6.3 или являются более высокими.

Таблица 6.3

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты электрических светильников в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
Стационарные светильники	
В-I	Взрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53 *
В-II	Повышенной надежности против взрыва
В-IIa	Без средств взрывозащиты Степень защиты IP53 *
Переносные светильники	
В-I, В-Ia	Взрывобезопасное
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасное
В-IIa	Повышенной надежности против взрыва

* Допускается изменение степени защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники.

6.4 ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

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

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

Проводники силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II и В-IIa должны быть защищены от перегрузок и КЗ, а их сечения должны выбираться в соответствии с гл. 3.1 [1], но быть не менее сечения, принятого по расчетному току.

Во взрывоопасных зонах классов В-Іб и В-Іг защита проводов и кабелей и выбор сечений должны производиться как для невзрывоопасных установок.

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

Во взрывоопасных зонах любого класса могут применяться:

- а) провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией;
- б) кабели с резиновой, поливинилхлоридной и бумажной изоляцией в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках.

Применение кабелей с алюминиевой оболочкой во взрывоопасных зонах классов В-І и В-Іа запрещается.

Применение проводов и кабелей с полиэтиленовой изоляцией или оболочкой запрещается во взрывоопасных зонах всех классов.

Соединительные, ответвительные и проходные коробки для электропроводок должны:

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

б) во взрывоопасной зоне класса В-ІІ - быть предназначенными 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-Іа и В-Іг - быть взрывозащитными для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей. Для осветительных сетей допускается применение коробок в оболочке со степенью защиты IP65;

г) во взрывоопасных зонах классов В-Іб и В-Іаа - иметь оболочку со степенью защиты IP54. До освоения промышленностью коробок со степенью защиты оболочки IP54 могут применяться коробки со степенью защиты оболочки IP44.

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

Допустимые способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4

Допустимые способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах

Кабели и провода	Способ прокладки	Сети выше 1 кВ	Силовые сети и вторичные цепи до 1кВ	Осветительные сети до 380 В
Бронированные кабели	Открыто - по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах; в каналах; скрыто - в земле (траншеях), в блоках	В зонах любого класса		
Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках	Открыто - при отсутствии механических и химических воздействий; по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в лотках, на тросах	В-Іб, В-Іа, В-Іг	В-Іб, В-Іа, В-Іг	В-Іа, В-Іб, В-Іа, В-Іг
	В каналах пылеуплотненных (например, покрытых асфальтом) или засыпанных песком	В-ІІ, В-Іа	В-ІІ, В-Іа	В-ІІ, В-Іа
	Открыто - в коробах	В-Іб, В-Іг	В-Іа, В-Іб, В-Іг	В-Іа, В-Іб, В-Іг
	Открыто и скрыто - в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса		
Изолированные провода	То же	То же		

7 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Целью теплового расчета электрических сетей является выбор параметров аппаратов защиты (плавких предохранителей, автоматических выключателей, тепловых реле), используемых для защиты сетей от токов короткого замыкания и перегрузок, а также проверка сечения жил проводников по допустимому тепловому нагреву. Кроме того, сечения жил проводников проверяют на допустимую потерю напряжения. Ниже приводится методика проверки силовых и осветительных сетей.

I. Тепловой расчет силовой сети

Защита плавкими предохранителями

1. Рассчитать номинальные и пусковые токи двигателей

Номинальный ток, А, для трехфазных двигателей переменного тока рассчитывается по формуле

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (7.1)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя, Вт; U_L - линейное напряжение, В; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности двигателя; η - к.п.д. двигателя.

Пусковой ток рассчитывается по формуле

$$I_n = k_n \cdot I_H, \quad (7.2)$$

где k_n - коэффициент кратности пускового тока (определяют по справочникам и паспортным данным двигателей; $k_n = 5 - 8$, при отсутствии данных принимают $k_n = 5$).

2. Определить необходимое сечение жил проводников исходя из условий допустимого теплового нагрева.

Сечение проводников определяют по величине допустимой длительной токовой нагрузки на жилы проводников $I_{дл}$ (табл. 1.3.4 - 1.3.27 [1]). При этом должно выполняться следующее условие:

$$I_{дл} \geq I_p, \quad (7.3)$$

где I_p - рабочий ток нагрузки.

Для электродвигателей

- во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа, В-II, В-IIа

$$I_p = 1,25 \cdot I_H \quad (7.4)$$

- в остальных случаях

$$I_p = I_n \quad (7.5)$$

3. Определить номинальный ток плавкой вставки исходя из условия

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_n}{\alpha}, \quad (7.6)$$

где α – коэффициент, зависящий от условий пуска электродвигателей; для двигателей с легкими условиями пуска $\alpha = 2,5$, для двигателей с тяжелыми условиями пуска (большая длительность разгона, частые пуски) $\alpha = 2,0 - 1,6$.

4. Проверить надежность отключения предохранителем аварийного участка при коротком замыкании в конце защищаемой линии по формулам

- во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа, В-II, В-IIа

$$\frac{I_{кз(к)(1)}}{I_{н.вст}} \geq 4; \quad (7.7)$$

- в остальных случаях

$$\frac{I_{кз(к)(1)}}{I_{н.вст}} \geq 3 \quad (7.8)$$

Ток однофазного короткого замыкания в сетях с глухозаземленной нейтралью в конце защищаемого участка [10]

$$I_{кз(к)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}}, \quad (7.9)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети, В; $Z_{(\phi-o)}$ - полное сопротивление цепи тока КЗ для петли «фаза – нуль».

Значение $Z_{(\phi-o)}$ определяется по формуле

$$Z_{(\phi-o)} = \sqrt{(\sum r_{\phi} + \sum r_{\partial} + \sum r_0)^2 + (\sum x_{\phi} + \sum x_0)^2} + z_{T(1)} \quad (7.10)$$

где r_{ϕ} , x_{ϕ} - активное и индуктивное сопротивление фазного провода, Ом; r_0 , x_0 - активное и индуктивное сопротивление нулевого проводника, Ом; r_{∂} - добавочное активное сопротивление переходных контактов, Ом; $z_{T(1)}$ - расчетное полное сопротивление трансформатора току КЗ на корпус, Ом.

Активное сопротивление проводника, Ом [56]

$$r = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (7.11)$$

где ρ - удельное активное сопротивление материала проводника, Ом · мм²/км ($\rho = 19$ Ом · мм²/км для меди, $\rho = 32$ Ом · мм²/км для алюминия);
 l - длина проводника, км; S - сечение проводника, мм².

Индуктивное сопротивление проводника, Ом [56]

$$x = a \cdot l, \quad (7.12)$$

где a – среднее значение индуктивного сопротивления проводника, Ом/км ($a = 0,07$ для кабелей, $a = 0,09$ для проводов, проложенных в трубе, $a = 0,25$ для проводов, проложенных на роликах или изоляторах, $a = 0,3$ для воздушных ЛЭП низкого напряжения).

Добавочное активное сопротивление переходных контактов r_d имеет следующие значения: 0,015 Ом – для распределительных щитов на подстанциях; 0,02 Ом – для первичных цеховых распределительных пунктов (РП); 0,025 Ом – для вторичных цеховых РП, питаемых от первичных; 0,03 Ом – для пускателей, установленных непосредственно у электродвигателей, питаемых от вторичных РП.

Значения расчетного полного сопротивления трансформатора тока КЗ на корпус $z_{T(1)}$ приведены в Приложении 4.

5. Проверить надежность отключения предохранителем аварийного участка при коротком замыкании в начале защищаемой линии по формуле

$$I_{np.np} \geq I_{кз(н)}, \quad (7.13)$$

где $I_{np.np}$ - предельный ток отключения предохранителя, А.

Ток трехфазного короткого замыкания в начале защищаемого участка

$$I_{кз(н)(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi}}, \quad (7.14)$$

где Z_{ϕ} - полное сопротивление фазы, Ом.

Полное сопротивление фазы определяется по формуле [56]

$$Z_{\phi} = \sqrt{\left(\sum r_{\phi} + \sum r_{\partial} + r_T\right)^2 + \left(\sum X_{\phi} + X_T\right)^2}, \quad (7.15)$$

где r_T и x_T – активное и индуктивное сопротивление трансформатора, Ом.

Активное сопротивление трансформатора

$$r_T = \frac{c}{S_T}, \quad (7.16)$$

где S_T – мощность трансформатора, кВА; c – коэффициент ($c = 4$ для $S_T = 60$ кВА; $c = 3,5$ для $S_T \leq 180$ кВА; $c = 2,5$ для $S_T \leq 1000$ кВА; $c = 2,2$ для $S_T \leq 1800$ кВА).

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_T = d \cdot r_T, \quad (7.17)$$

где d – коэффициент ($d = 2$ для $S_T \leq 180$ кВА; $d = 3$ для $S_T \leq 1000$ кВА; $d = 4$ для $S_T \leq 1800$ кВА).

6. Проверить селективность действия плавкого предохранителя, то есть такую работу, когда на появление тока КЗ реагирует только ближайший к месту повреждения аппарат защиты и не отключается предшествующий ему аппарат. При одинаковых предохранителях с плавкими вставками из одного металла для обеспечения селективности необходимо, чтобы номинальные токи плавких вставок последовательно включенных предохранителей отличались на две ступени шкалы номинальных токов.

Защита автоматическими выключателями и тепловыми реле магнитных пускателей

1. Определить необходимое сечение жил проводников исходя из условий допустимого теплового нагрева.

Сечение проводников определяют по величине допустимой длительной токовой нагрузки на жилы проводников $I_{\partial л}$ (табл. 1.3.4 - 1.3.27 [1]). При этом должно выполняться следующее условие:

$$I_{\partial л} \geq I_p, \quad (7.18)$$

где I_p – рабочий ток нагрузки.

Для электродвигателей

- во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II, В-IIa

$$I_p = 1,25 \cdot I_n \quad (7.19)$$

- в остальных случаях

$$I_p = I_n \quad (7.20)$$

2. Проверить соответствие номинальных токов расцепителей автоматов (тепловых реле магнитных пускателей) току нагрузки

$$\left. \begin{array}{l} I_{н.эл.м} \\ I_{н.тепл} \\ I_{н.р} \end{array} \right\} \geq I_p , \quad (7.21)$$

где $I_{н.эл.м}$ - номинальный ток электромагнитного расцепителя; $I_{н.тепл}$ - номинальный ток теплового расцепителя; $I_{н.р}$ - номинальный ток теплового реле.

3. Проверить параметры автоматов на отсутствие ложных срабатываний

$$I_{ср.эл.м} \geq 1,25 \cdot I_n , \quad (7.22)$$

$$I_{ср.тепл} \geq 1,25 \cdot I_n , \quad (7.23)$$

где $I_{ср.эл.м}$, $I_{ср.тепл}$ - токи срабатывания электромагнитного и теплового расцепителей.

4. Проверить надежность отключения автоматом аварийного участка при коротком замыкании в конце защищаемой линии по формулам

- во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II, В-IIa

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{ср.эл.м}} \geq 1,25 - 1,4 , \quad (7.24)$$

1,4 – при номинальном токе автомата $I_{н.а} \leq 100$ А;

1,25 - при номинальном токе автомата $I_{н.а} > 100$ А.

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{н.тепл}} \geq 6 \quad (7.25)$$

- в остальных случаях

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{ср.эл.м}} \geq 1,25 - 1,4 ;$$
$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{н.тепл}} \geq 3 \quad (7.26)$$

Ток однофазного короткого замыкания короткого замыкания в конце линии определяется по формуле (7.9).

5. Проверить надежность отключения автоматом аварийного участка при коротком замыкании в начале защищаемой линии по формуле

$$I_{нр.а} \geq I_{кз(н)} , \quad (7.27)$$

где $I_{нр.а}$ - предельный ток отключения автомата.

6. Проверить селективность действия автомата (аналогично варианту с плавкими предохранителями). Необходимо, чтобы номинальные токи расцепителей последовательно включенных автоматов отличались на две ступени шкалы номинальных токов.

Тепловой расчет осветительной сети

Защита плавкими предохранителями

1. Определить рабочий ток нагрузки

- в групповой осветительной сети однофазного тока

$$I_P = \frac{\sum P}{U_{\phi}} , \quad (7.28)$$

или трехфазного тока

$$I_P = \frac{\sum P}{\sqrt{3} \cdot U_L} \quad (7.29)$$

где $\sum P$ - суммарная мощность светильников, Вт; U_{ϕ} , U_L - фазное и линейное напряжение сети, В.

2. Определить необходимое сечение жил проводников исходя из условий допустимого теплового нагрева по формуле (7.18).

3. Определить номинальный ток плавкой вставки исходя из условий

$$I_{н.вст} \geq I_p, \quad (7.30)$$

$$I_{н.вст} \leq 0,8I_{\text{дл}} \quad (7.31)$$

4. Проверить надежность отключения предохранителем аварийного участка при коротком замыкании в конце и начале защищаемой линии по формулам (7.7), (7.8), (7.13) аналогично расчету силовой сети.

5. Проверить селективность действия предохранителей (аналогично расчету силовой сети).

Защита автоматическими выключателями

1. Определить рабочий ток нагрузки по формулам (7.28), (7.29) (аналогично варианту с плавкими предохранителями).

2. Определить необходимое сечение жил проводников исходя из условий допустимого теплового нагрева по формуле (7.18).

3. Проверить соответствие номинальных токов расцепителей автоматов току нагрузки по формуле

$$\left. \begin{array}{l} I_{н.эл.м} \\ I_{н.тепл} \end{array} \right\} \geq I_p \quad (7.32)$$

4. Проверить соответствие номинального тока теплового расцепителя автомата сечению жилы проводника по формуле

$$I_{н.тепл} \leq I_{\text{дл}} \quad (7.33)$$

5. Проверить надежность отключения автоматом аварийного участка при коротком замыкании в конце защищаемой линии по формулам (7.24), (7.25), (7.26). Если автомат с комбинированным расцепителем, то достаточно выполнения одного из условий: (7.24) или (7.25), (7.24) или (7.26).

6. Проверить надежность отключения автоматом аварийного участка при коротком замыкании в начале защищаемой линии по формуле (7.27).

7. Проверить селективность действия автоматов (аналогично расчету силовой сети).

III. Расчет сечения проводников исходя из условий допустимого теплового нагрева

Методика данного расчета применима к любому виду электрической сети [57].

1. Определить фактическую потерю напряжения на рассчитываемом участке сети, %

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{\sum P \cdot l}{C \cdot S} \quad (7.34)$$

где P – расчетная мощность нагрузки, кВт; l – длина участка, м; C – коэффициент, учитывающий напряжение, систему питания и материал проводника; S – сечение жилы кабеля или провода.

Если сеть состоит из нескольких участков с разными сечениями и нагрузками, то общие потери напряжения равны сумме потерь на отдельных участках сети

$$\sum \Delta U_{\text{факт}} = \Delta U_{\text{факт}_1} + \Delta U_{\text{факт}_2} + \dots + \Delta U_{\text{факт}_n} \quad (7.35)$$

2. Сравнить фактическую потерю напряжения с допустимой

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (7.36)$$

8 СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Целью светотехнического расчета является определение необходимого числа светильников для создания в помещении нормируемой освещенности. Так как электрические светильники являются источниками зажигания, то для снижения пожарной опасности в помещении можно уменьшить количество установленных светильников, если их расчетное число меньше фактического.

Существуют несколько методов расчета осветительных установок. Рассмотрим два из них - метод коэффициента использования осветительной установки и метод удельной мощности [58].

Метод коэффициента использования осветительной установки

Коэффициент использования осветительной установки K_u показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность

$$K_u = \frac{F_{пол}}{F_l \cdot n}, \quad (8.1)$$

где $F_{пол}$ - световой поток, падающий на рабочую поверхность, лм; F_l - световой поток лампы, лм; n - число ламп в светильнике.

Зная K_u , можно определить необходимое число светильников для создания нормируемой освещенности в помещении

$$N = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot F_l \cdot K_u}, \quad (8.2)$$

где E_n - нормируемая освещенность, лк [59]; K_3 - коэффициент запаса (таблица 56.23 [58]), $K_3 = 1,3$ для ламп накаливания, $K_3 = 1,5$ для люминесцентных ламп и ДРЛ; S - площадь помещения, м²; Z - коэффициент минимальной освещенности, $Z = 1,15$ для ламп накаливания и ДРЛ, $Z = 1,1$ для люминесцентных ламп; n - число ламп в светильнике; F_l - световой поток лампы, лм; K_u - коэффициент использования осветительной установки.

Значение K_u определяется по таблице 56.31 [58] в зависимости от типа светильника, вида кривой силы света (КСС) светильника, индекса помещения i и коэффициентов отражения потолка $\rho_{п}$, стен $\rho_{с}$ и

расчетной поверхности ρ_p .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \quad (8.3)$$

где a, b , – соответственно длина, ширина и высота помещения, м; h – высота подвеса светильников, м.

Для производственных помещений можно принять $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$ или $\rho_{\text{п}} = 30 \%$, $\rho_{\text{с}} = 10 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$.

Метод удельной мощности

Данный приближенный метод более прост, чем метод коэффициента использования осветительной установки.

Удельная мощность осветительной установки определяется по формуле

$$W = \frac{P_{\Sigma}}{S}, \quad (8.4)$$

где P_{Σ} - суммарная мощность светильников, Вт; S – площадь помещения, Вт/м².

Удельная мощность осветительной установки W зависит от типа светильника, высоты его подвеса, площади помещения и нормируемой освещенности. Значения W приведены в таблицах 56.33 и 56.34 [12].

Необходимое число светильников для создания нормируемой освещенности в помещении

$$N = \frac{S \cdot W}{P_{\text{л}} \cdot n}, \quad (8.5)$$

где $P_{\text{л}}$ - мощность лампы, Вт; n – число ламп в светильнике.

9 РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Согласно п.1.7.103 [1], общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

Заземляющие проводники для повторных заземлений нулевого защитного проводника должны иметь размеры не менее приведенных в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	16	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	100	4
	Угловой	-	100	4
	Трубный	32	-	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	12	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	75	3
	Трубный	25	-	2
Медь	Круглый	12	-	-
	Прямоугольный	-	50	2
	Трубный	20	-	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	

* Диаметр каждой проволоки.

При расчете искусственного заземлителя необходимо проверить выполнение условия

$$r_{иск} \leq r_3, \quad (9.1)$$

где $r_{иск}$ - сопротивление искусственного заземлителя, Ом; r_3 - сопротивление заземлителя согласно п.1.7.103 [1].

Проводимость искусственного заземлителя [57]

$$\frac{1}{r_{иск}} = \frac{1}{r_в} + \frac{1}{r_г}, \quad (9.2)$$

где $r_в$ - сопротивление вертикальных заземлителей, Ом; $r_г$ - сопротивление горизонтальных заземлителей, Ом.

Отсюда сопротивление искусственного заземлителя, Ом

$$r_{иск} = \frac{r_в \cdot r_г}{r_в + r_г} \quad (9.3)$$

Сопротивление одиночного цилиндрического электрода [11]

$$r_{ов} = 0,366 \frac{\rho_{расч}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (9.4)$$

где $\rho_{расч}$ - расчетное удельное сопротивление грунта, Ом· м; l – длина трубы или стержня, м; d - диаметр трубы или стержня, м; t – глубина заложения (расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

Расчетное удельное сопротивление грунта, Ом· м

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \cdot k, \quad (9.5)$$

где $\rho_{изм}$ - измеренное удельное сопротивление грунта в месте измерения, Ом· м; k – повышающий коэффициент.

Если вертикальный электрод выполнен из стального уголка, то в формуле (9.4) вместо диаметра d проставляется $0,95b$, где b – ширина полки уголка, м.

Сопротивление горизонтального заземлителя, выполненного из полосовой стали, Ом [57]

$$r_{он} = 0,366 \frac{\rho_{расч}}{l} \lg \frac{2l^2}{bt}, \quad (9.6)$$

где l – длина полосы, м; b – ширина полосы, м; t – расстояние от поверхности земли до полосы, м.

Сопротивление горизонтального заземлителя, выполненного из круглой стали, Ом [57]

$$r_{ок} = 0,366 \frac{\rho_{расч}}{l} \lg \frac{l^2}{dt}, \quad (9.7)$$

где d - диаметр круглой стали, м.

Обычно конструкция заземлителей состоит из нескольких вертикальных электродов, соединенных горизонтальной полосой, В этом случае возникает явление экранирования электродов, которое учитывается при расчете заземлителей.

Сопротивление вертикальных электродов с учетом экранирования, Ом

$$r_{\text{в}} = \frac{r_{0\text{в}}}{n \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (9.8)$$

где n - количество вертикальных электродов; $\eta_{\text{в}}$ - коэффициент использования вертикальных заземлителей.

Сопротивление горизонтальной соединительной полосы с учетом экранирования, Ом

$$r_{\text{ГП}} = \frac{r_{0\text{ГП}}}{\eta_{\text{Г}}}, \quad (9.10)$$

где $\eta_{\text{Г}}$ - коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы.

Тогда формула (9.3) примет вид

$$r_{\text{иск}} = \frac{r_{\text{в}} \cdot r_{\text{ГП}}}{r_{\text{в}} + r_{\text{ГП}}} \quad (9.11).$$

10 МОЛНИЕЗАЩИТА

Воздействие молнии может быть двояким. Во-первых, оно может поражать здания и установки непосредственно, что называется *прямым ударом*, или *первичным воздействием*. Прямой удар молнии характеризуется непосредственным контактом канала молнии со зданием или сооружением и сопровождается протеканием через него тока молнии. Во-вторых, она может оказывать *вторичные воздействия*, объясняемые электростатической и электромагнитной индукцией, а также заносом высоких потенциалов через надземные и подземные металлические коммуникации, что является следствием прямого удара молнии. Вторичные воздействия создают опасность искрения внутри защищаемого объекта.

Воздействия прямого удара молнии

Прямой удар молнии обуславливает следующие воздействия на объекты: *термические*, *механические* и *электрические*. Все эти воздействия могут быть причинами пожаров, взрывов, механических разрушений, перенапряжения на пораженных элементах объекта, проводах и кабелях электрических сетей, поражения людей.

Термические воздействия связаны с резким выделением теплоты при прямом контакте канала молнии с содержимым пораженного объекта и при протекании через объект тока молнии. Канал молнии имеет высокую температуру (30 000°С и выше) и запас тепловой энергии. Выделяемая в канале молнии энергия определяется переносимым зарядом, длительностью протекания и амплитудой тока молнии. В 95 % случаев разрядов молнии эта энергия (в расчете на сопротивление 1 Ом) превышает 5,5 Дж, что на несколько порядков превышает минимальную энергию воспламенения газо-, паро- и пылевоздушных смесей. При этом вероятность воспламенения горючей среды зависит не только и не столько от амплитуды тока, сколько от величины и времени протекания длительного тока молнии в ее финальной стадии (ток 100-500 А, время 1-1,5 с).

Особую опасность прямой удар молнии представляет для зданий и наружных установок, где по условиям технологического процесса может образоваться взрывоопасная среда, что встречается редко; чаще она образуется при нарушении технологических процессов, авариях оборудования, вентиляции.

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

Тепловые процессы в месте контакта молнии с металлом весьма сложны и плохо поддаются расчету. При упрощении модели этого явления можно предположить, что процесс тепловыделения в зоне контакта аналогичен стационарной электрической дуге. Доказано, что проплавление (прожог) металла установок током молнии возможно лишь при его толщине не более 4 мм.

В работе [36] указывается, что площадь прожога S , мм², слабо зависит от материала стенки, а определяется в основном ее толщиной δ , мм, и протекшим зарядом q_M , Кл. Экспериментальные данные удовлетворительно интерполируются следующими соотношениями для меди, железа, стали и алюминия:

при $0 \text{ мм} < \delta \leq 0,9 \text{ мм}$

$$S = 25,3\delta^{-0,9} q_M; \quad (10.1)$$

при $0,9 \text{ мм} < \delta \leq 3,8 \text{ мм}$

$$S = 24,5\delta^{-1,54} q_M. \quad (10.2)$$

Проплавление током молнии металлических поверхностей может привести к взрыву и разрушениям, если внутри установки содержится взрывоопасная концентрация горючих газов и паров, поэтому с учетом коррозии за минимальную толщину металла, способную сохранить герметичность установки (при отсутствии высоких давлений), принимают 5 мм. Необходимо учитывать, что внутренняя часть стенки установки, где содержится продукт, в месте удара молнии приобретает повышенную температуру, которая может оказаться критической для него и вызвать взрыв. Для объяснения этого явления можно воспользоваться теорией воспламенения горючих смесей от действия накаливаемых тел.

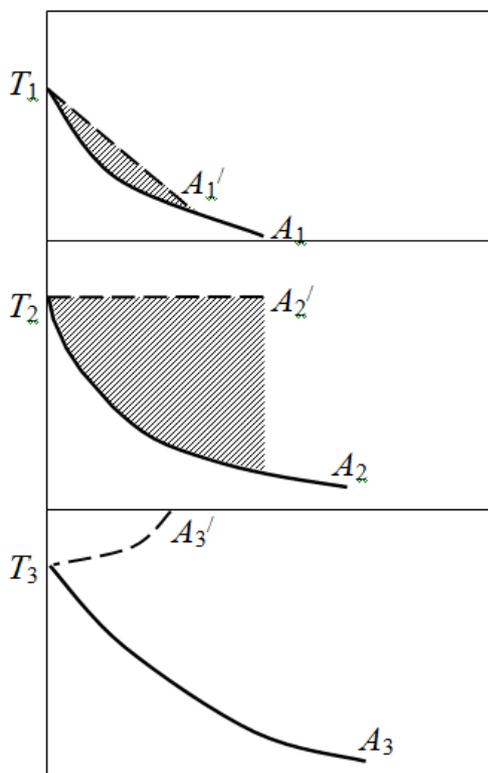


Рис. 10.15. Схема зажигания накаливаемым телом

снижением (кривая T_2A_2). В горючей же смеси, где с повышением температуры увеличивается выделение теплоты, распределение температуры снижается значительно медленней, чем T_2A_2 . При определенном значении T_2 понижения температуры в горючей среде (вблизи накаливаемого участка стенки) не произойдет, а ее распределение изобразится пунктирной линией T_2A_2' , т.е. температура горючей смеси за счет выделения тепла реакции поддерживается равной температуре накаливаемого участка стенки, который больше не участвует в процессе нагрева смеси.

При повышении температуры стенки до T_3 на некотором удалении от нее температура горючей смеси будет расти до тех пор, пока не возникнет горение. Такое изменение температуры изобразится кривой T_3A_3' .

Таким образом, температура накаливаемого участка стенки T_2 является предельной, так как при ней количество теплоты, выделяемое реакцией, равняется отводимому. Если немного повысить температуру участков стенки (до T_3), то скорость выделения теплоты превысит скорость теплоотвода, и смесь получит возможность разогреваться до воспламенения, следовательно, T_3 – температура самовоспламенения. В случае возникновения горения от действия местного источника

Пораженный участок стенки установки (рис. 10.1) примем за накаливаемое тело с температурой T_1 . Если среда, соприкасающаяся с ним, инертна, то распределение температуры в ней изобразится кривой T_1A_1 . Если же среда представляет собой горючую смесь, то в силу дополнительного выделения тепла распределение температур в ней изобразится пунктирной линией T_1A_1' . Повышение начальной температуры стенки до T_2 приведет к тому, что в инертной среде ее распределение будет подобно прежнему, но с более резким

критическая температура должна превышать температуру самовоспламенения (например, T_3), при этом чем меньше размеры накаливаемого участка стенки, тем выше критическая температура.

Были проведены опыты по выявлению влияния размеров шарика, рассматриваемого в качестве источника зажигания, на температуру самовоспламенения горючей смеси. Результаты опытов показали (рис. 10.2), что меньшему диаметру шарика соответствует большая температура самовоспламенения газовой смеси (светильного газа с воздухом). Диаметр накаливаемого участка в месте прямого удара молнии можно принять равным 10 см.

При воспламенении горючей смеси в аппарате, пораженном молнией, необходимо учитывать и то, что горючие смеси имеют *период индукции* или время запаздывания самовоспламенения. Воспламенения не произойдет, если указанный период окажется больше времени охлаждения накаливаемого участка стенки аппарата до величины ниже температуры самовоспламенения. Если же он меньше времени охлаждения этого участка, то горючая смесь воспламенится.

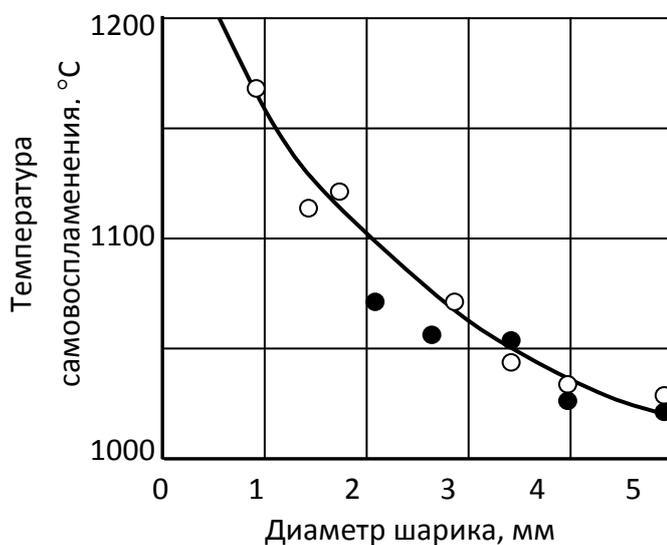


Рис. 10.2. Зависимость температуры самовоспламенения от диаметра шарика

Опытами установлено, что время нагрева и охлаждения пораженного молнией места в стальном листе от 0,1 до 10 с. Максимум температуры возникает через 1-2 с от начала удара молнии и уменьшается пропорционально толщине листа. Период же индукции у ряда веществ может быть меньше интервала между возникновением максимума температуры и охлаждением поражаемого участка стенки. У

метановоздушных смесей в зависимости от процентного содержания метана (6-10 %) и температуры нагрева смесей (775-875 °С) период индукции колеблется от 0,35 до 1,23 с. У водородовоздушных смесей при концентрациях водорода от 27,8 до 34 % период индукции составляет 3 мс, а у ацетиленовоздушных смесей (концентрация ацетилена 10-18 %) – 4 – 14 мс. У пыли битуминозного угля он составляет примерно 4 мс, а у алюминиевой пыли практически отсутствует. Из приведенных примеров видно, что установки с водородом или ацетиленом более опасны, чем с метаном. Также опасны сооружения с алюминиевой пылью.

Представленная на рис. 10.3 кривая $t_{\text{макс}} = f(\delta)$ позволяет выбрать допустимую толщину металла для наружных взрывоопасных установок. Там, где допустимо повышение температуры внутренней стенки до 800-1200 °С (с учетом всех свойств среды) и нет высоких давлений, можно ограничиться толщиной стенки в 4-5 мм. В установках, содержащих газ или жидкость под давлением, толщина должна быть 5,5-6 мм, в противном случае силой давления разогретый металл разорвется или вспучится, что может привести к пожару или взрыву.

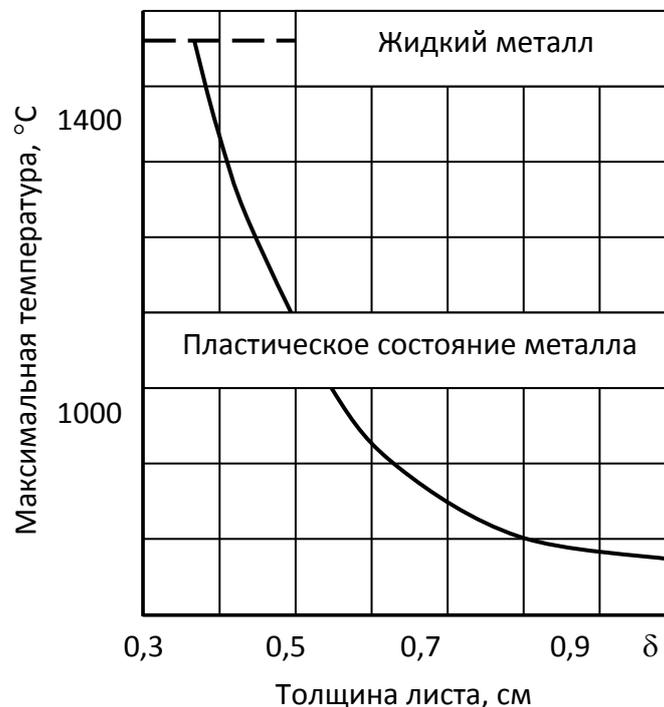


Рис. 10.3. Зависимость температуры от толщины листа

Таким образом, при решении вопроса об использовании взрывоопасных наружных технологических установок в качестве естественных молниеприёмников в каждом отдельном случае необходим

тщательный анализ приведенных выше условий. В сомнительных случаях (установки находятся под избыточным давлением) для исключения непосредственного контакта канала молнии с установкой на последней сооружают специальный молниеприёмник. Такие молниеприёмники необходимы и в том случае, если на установках имеются дыхательные клапаны, газоотводные трубы, свечи. При этом молниеприёмники располагают так, чтобы контакт канала молнии с ними происходил вне взрывоопасной зоны распространения взрывоопасных смесей. Те же условия нужно соблюдать и при установке молниеотводов для защиты взрывоопасных зданий с устройствами для выделения горючих смесей, способных к воспламенению при контакте с каналом молнии. Большинство промышленных зданий и наружных установок представляет сложную сеть металлических конструкций, трубопроводов и т.д., по которым в момент прямого удара растекается ток молнии. При отсутствии контакта между отдельными конструкциями в местах сближения металлических частей может возникнуть мощная искра – источник воспламенения горючей среды.

Пожар или взрыв от прямого удара молнии может произойти и при наличии молниезащиты, если токоотводы имеют значительную протяженность и не предприняты меры по выравниванию потенциалов между ними и металлическими конструкциями здания или технологического оборудования. В противном случае между токоотводом и элементами здания, сохраняющими потенциал, близкий к потенциалу земли, возникает искра – источник взрыва или пожара. К пожару может привести также нарушение целостности токоотвода, проложенного по мягкой кровле или сгораемому утеплителю здания, и тогда в месте разрыва возникает мощная искра.

Пожаро- и взрывоопасность атмосферного электричества может быть обусловлена не только прямым ударом молнии, но и встречными (незавершенными) восходящими лидерами (размер канала составляет несколько десятков сантиметров), температура канала которых может достигать 2 000 – 7 000 К. Развивающиеся, например, от газоотводных и дыхательных труб, они даже при отсутствии разряда молнии могут вызвать воспламенение взрывоопасных смесей паров и газов, сбрасываемых в атмосферу. Такие случаи наблюдаются на нефтехимических предприятиях. Однако каких-либо нормативных мер

защиты от указанных явлений не предусмотрено. Вероятность воспламенения сбрасываемых горючих смесей можно снизить примерно в 100 раз, если на устройствах по сбросу укрепить сетку-сферу (электростатический купол) с радиусом 1 м.

Отсутствуют нормативные рекомендации о необходимости учитывать при молниезащите дымовых труб не только ее высоту, но часть высоты струи выбрасываемого дыма. Высоту струи дыма над трубой следует принимать до точки, в которой температура горячих газов будет не более 100 °С. Следовательно, защитный уровень трубы будет равным $h_x = h_{тр} + h_{стр}$.

Термическое воздействие токов молнии на проводники вызывает не только их нагрев, но и оплавление. При этом может выделиться такое количество теплоты, которое при недостаточном сечении металла расплавит его или даже испарит. В местах разрыва проводников или плохого электрического контакта обычно появляется искра. При расчете минимальных сечений исходят из условия, что вся тепловая энергия, выделяемая током молнии, идет на нагрев металла токоотвода. Потерей теплоты в окружающую среду из-за кратковременности этого процесса пренебрегают.

Расчетами определено, что минимальное сечение стальных токоотводов, исключающее расплавление, составляет 16 мм², а медленных – 6 мм². С учетом коррозии металлов их минимальные сечения следует увеличить. В практике имелись случаи, когда от действия молнии токоотводы распадались на куски длиной в несколько сантиметров, что объясняется не только тепловыми, но и электродинамическими усилиями, возникающими в проводниках. В целях повышения механической прочности и увеличения срока службы рекомендуется применять токоотводы сечением не менее 29 мм² из круглой стали и 16 мм² из меди.

Механические воздействия токов молнии обуславливаются ударной волной, распространяющейся от канала молнии, и электродинамическими силами, действующими на проводники с токами молнии. Это воздействие может быть причиной, например, сплющивания тонких металлических трубок и схлестывания проводников. При поражении молнией сооружений из твердого негорючего материала (камня, кирпича, бетона) наблюдаются местные разрушения как результат динамического действия. Наиболее серьезные из них связаны с электрогидравлическими эффектами

при разряде молнии. Если между пораженным участком объекта и землей нет токопроводящих путей, его потенциал по отношению к земле достигает высоких значений и возникает пробой (разряд) по пути наименьшей электрической прочности.

Ток молнии, устремляясь в узкие каналы пробоя, вызывает резкое повышение температуры и испарение (взрыв) в них материала. При этом давление достигает значительных величин, что приводит к взрыву (расщеплению) токонепроводящих частей объекта, например расщепление деревянных сооружений и деревьев, разрушение незащищенных кирпичных дымовых труб, башен. При этом степень разрушения определяется не столько током молнии, сколько содержанием влаги или газогенерирующей способностью пораженного материала. Известны случаи частичного или даже полного разрушения бетонных и железобетонных сооружений. Это можно объяснить плохими контактами в местах соединений стальной арматуры. При надежных контактах арматура железобетонных сооружений может служить хорошим токоотводом для молнии, так как имеет большое общее сечение, исключая опасные повышения температуры.

Электрические воздействия молнии связаны с поражением людей или животных электрическим током и появлением перенапряжений на пораженных элементах объекта. Перенапряжение пропорционально амплитуде и крутизне тока молнии, индуктивности конструкций и сопротивлению заземлителей, по которым ток молнии отводится в землю. Даже при выполнении молниезащиты прямые удары молнии с большими токами и крутизной могут привести к перенапряжениям в несколько мегавольт.

При отсутствии молниезащиты пути растекания тока молнии становятся неконтролируемыми и это может увеличить опасность поражения током людей, опасные напряжения шага и прикосновения, а также перекрытия на другие объекты.

Поэтому опасно укрываться во время грозы под деревьями, особенно высокими или стоящими отдельно, находиться вблизи металлических труб, мачт, молниеотводов, заземлителей и т.п.

Вторичные воздействия молнии

Под вторичными воздействиями молнии подразумеваются явления во время близких разрядов молнии, сопровождающиеся появлением

разностей потенциалов на конструкциях, трубопроводах и проводах внутри помещений и сооружений, не подвергающихся непосредственному прямому удару. Они возникают в результате электростатической и электромагнитной индукции. К ним можно отнести также появление разностей потенциалов внутри помещений вследствие заноса высоких потенциалов через надземные и подземные металлические коммуникации (трубопроводы, кабели, воздушные линии).

Электростатическая индукция. Накопление в грозовом облаке и частичное перемещение зарядов в формирующийся канал молнии в ее начальной стадии вызывает скопление связанных зарядов противоположного знака на поверхности земли и наземных объектов. Развитие этих процессов происходит относительно медленно, поэтому перемещение зарядов не вызывает внутри наземных объектов заметных разностей потенциалов, несмотря на высокие сопротивления утечки. В стадии главного разряда освобождение связанных зарядов происходит настолько быстро, что могут возникнуть существенные разности потенциалов между металлическими конструкциями и землей, вызванные протеканием токов через большие сопротивления утечки. Разности потенциалов даже при ударах молнии на расстоянии 100 м от здания могут достигать десятков и сотен киловольт и вызывать искры в воздушных промежутках. Несмотря на малую энергию, искры могут быть причиной взрывов в помещениях со взрывоопасными концентрациями горючих смесей газов, паров и пылей.

На таких устройствах, как провода воздушных линий (электрических линий связи), освободившиеся заряды распространяются в виде волн и создают напряжения по отношению к земле в десятки и сотни киловольт, способные вызывать в них мощные искровые разряды.

Электромагнитная индукция. Разряд молнии сопровождается появлением в пространстве быстро изменяющегося во времени магнитного поля, индуцирующего ЭДС, способную вызвать искрообразование в контурах из различных протяженных металлических предметов (трубопроводов, воздухопроводов, проводов, кабелей). При полностью замкнутом контуре индуцированная ЭДС вызовет электрический ток и небольшое нагревание его элементов, не представляющее, как правило, какой-либо опасности.

Контур может быть незамкнутым или иметь плохие контакты в местах соединений (во фланцах трубопроводов), где ЭДС и может вызвать искрение. Величина электродвижущей силы электромагнитной индукции зависит от параметров тока молнии, размера и конфигурации контура и их взаимного расположения. При расположении канала молнии и контура, как показано на рис. 10.4, напряжение в вольтах на разомкнутых концах контура может быть определено по формуле

$$U_k = M(di_M/dt) = M(I_M/\tau_\phi), \quad (10.3)$$

где $M = 2c \ln[(a+b)/c]10^{-9}$ – коэффициент взаимоиндукции между каналом молнии и контуром, Гн (a – расстояние от канала молнии до контура, см; b и c – размеры контура, см).

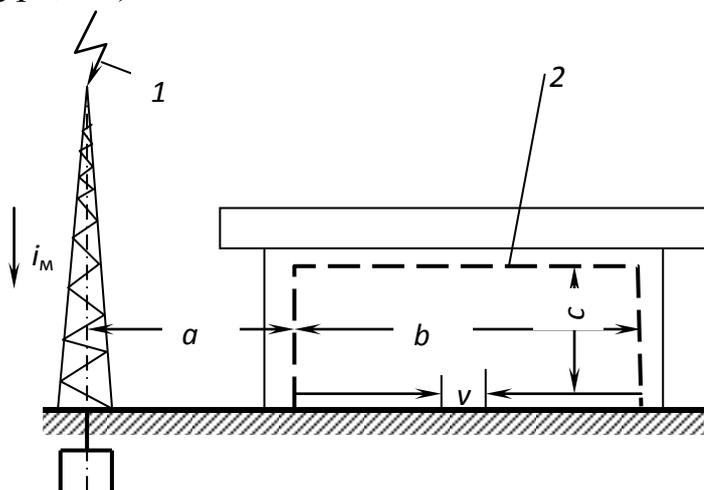


Рис. 10.4 Положение канала молнии и контура для расчета индуцированных напряжений: 1 – канал молнии; 2 – контур

Значительное число пожаров нефтяных цистерн, резервуаров и складских емкостей обусловлено вторичным (индуцированным) воздействием, а не прямым ударом молнии. Пожары являются результатом искр, генерированных в емкостях с горючими паровоздушными смесями. Для оценки пожаро- и взрывоопасности вторичных воздействий молнии были проведены исследования воспламеняющей способности электрических искр, обусловливаемых электромагнитной индукцией и нагревом мест плохих контактов [3]. Исследования проводились в полевых и лабораторных условиях.

В лабораторных условиях, используя генератор импульсных токов (ГИТ), исследовали величины энергии, рассеиваемой в искрах, возникающих в искровом промежутке вторичного контура, а также

характер искрений и нагрев во фланцевых соединениях трубопроводов при протекании по ним импульсных токов.

Сравнение величин этой энергии с минимальной энергией электрических искр, достаточной для воспламенения более 50 различных паро-, газо- и пылевоздушных смесей, показало, что последняя в 5,6 – 14 раз превышает величины минимальной, достаточной для воспламенения даже трудновоспламеняемых пылевоздушных взрывоопасных смесей. Если взять только паро- и газоздушные смеси, то превышение будет в 10^2 - 10^5 раз, причем оно должно быть еще больше, поскольку параметры разряда молнии значительно превышают те, которые имитировались в разрядах ГИТ. Необходимо учитывать и увеличенные размеры токопроводящих контуров на промышленных объектах по сравнению с экспериментальными.

Для исследования нагрева и искрообразований во фланцевых соединениях токопроводящих контуров при протекании по ним токов молнии или тока, обусловливаемого ЭДС индукции, были проведены два вида опытов как на чистых соединениях, так и с сильной коррозией [3].

Исследованиями установлено, что ни в одном из рассмотренных случаев какого-либо нагрева фланцевого соединения не наблюдалось, поэтому напрашивается вывод, что как чистые, так и корродированные фланцевые соединения (с точки зрения возможности их нагрева) для взрывоопасных сред никакой опасности не представляют.

Исследование искрообразований проводили на тех фланцевых соединениях, при тех же параметрах разрядного тока ГИТ, что и при опытах нагрева. Опыты с чистым фланцевым соединением на трех, четырех и пяти болтах выявили отсутствие искрений при протекании по нему тока даже с амплитудой 48,2 кА. При одном или двух болтах возникает сильное искрение как из-под шайб соединительных болтов, так и по периметру между фланцами.

Опыты с ржавыми фланцевыми соединениями показали, что в этом случае даже при четырех болтах диаметром 8 мм искрение из-под шайб наблюдается при значительно более низкой амплитуде тока (10,7 кА). При больших величинах тока искрение происходило также и между фланцами. Таким образом, корродированные фланцевые соединения (с точки зрения искрообразования) представляют большую опасность, поэтому в зданиях со взрывоопасной и одновременно химически активной средой, где

надлежащий контакт с допустимой величиной переходного сопротивления (0,03 Ом) не может быть обеспечен, необходима установка перемычек из стальной проволоки или шунтирующих устройств.

Заносы высоких потенциалов в здания возможны по рельсовым путям, эстакадам, подземным трубопроводам, кабелям и другим протяженным металлическим коммуникациям и могут сопровождаться мощными электрическими разрядами не только при прямом ударе молнии, но и в том случае, когда эти коммуникации расположены вблизи элементов молниеотводов. Значительное повышение потенциала на молниеотводе при прямом ударе молнии может вызвать перекрытие изоляции по воздуху, земле или дереву на части указанных коммуникаций. Искрообразование внутри взрывоопасных зданий, обусловливаемое заносом высокого потенциала по коммуникациям, является источником взрыва и представляет серьезную опасность для людей.

10.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Категории молниезащиты

Тяжесть опасных последствий прямого удара молнии при ее термических, механических и электрических воздействиях, а также искрениях и перекрытиях, вызванных другими видами воздействий, зависит от конструктивно-планировочных особенностей зданий и сооружений и пожаро-взрывоопасности технологического процесса. Например, в производствах, постоянно связанных с наличием открытого пламени, при применении несгораемых материалов и конструкций протекание тока молнии не представляет большой опасности. Однако наличие внутри объекта взрывоопасной или пожароопасной среды создает угрозу пожара, разрушений, человеческих жертв, больших материальных убытков.

При таком разнообразии конструктивных и технологических условий предъявлять одинаковые требования к молниезащите всех объектов означало бы или предусматривать чрезмерные излишества, или мириться с неизбежностью значительных убытков, вызванных последствиями поражения молнией. Поэтому в инструкции [7] принят

дифференцированный подход к устройству молниезащиты различных объектов, в связи с чем – по устройству молниезащиты здания и сооружения разделены на три категории, отличающиеся по тяжести возможных последствий поражения молнией.

I категория – здания и сооружения или их части с взрывоопасными зонами классов В-I и В-II по [1]. В них хранятся или содержатся постоянно, либо появляются во время производственного процесса смеси газов, паров или пыли горючих веществ с воздухом или иными окислителями, способные взорваться от электрической искры.

II категория – здания и сооружения или их части, в которых имеются взрывоопасные зоны классов В-Iа, В-Iб, В-IIа согласно [1]. В них взрывоопасные смеси могут появляться лишь при аварии или неисправностях в технологическом процессе. К этой категории принадлежат также наружные технологические установки и склады, содержащие взрывоопасные газы и пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (газгольдеры, цистерны и резервуары, сливно-наливные эстакады), отнесенные по [1] к взрывоопасным зонам класса В-Iг.

III категория – несколько вариантов зданий, в том числе: здания и сооружения с пожароопасными зонами классов П-I, П-II и П-III согласно ПУЭ; наружные технологические установки, открытые склады горючих веществ, где применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С или твердые горючие вещества, отнесенные по [1] к зоне класса П-III.

Зоны защиты молниеотводов

Защитное действие молниеотводов основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. Во время лидерной стадии разряда на вершине молниеотвода скапливаются заряды, создающие на ней очень большие напряженности электрического поля, куда и направляется разряд. Развитие с молниеотвода встречного лидера еще более усиливает напряженность поля в направлении лидера молнии и окончательно предопределяет ее удар в молниеотвод.

Защитное действие молниеотвода характеризуется вероятностью прорыва молнии. Под этой вероятностью понимают отношение числа разрядов молнии в защищаемой объект к общему числу разрядов в систему молниеотвод-объект. При анализе поражения молниями

различных сооружений [36] было установлено, что вероятность прорыва молнии к объекту снижается по мере сокращения расстояний между молниеотводом и объектом. Однако определение вероятности прорыва для каждого конкретного сооружения - задача достаточно сложная, поэтому в проектной практике широко пользуются зонами защиты молниеотводов.

Под зоной защиты понимают пространство в окрестности молниеотвода, характеризующееся тем, что вероятность прорыва молнии к любому объекту внутри зоны не превышает некоторой достаточно малой величины. Конфигурация и размеры зон защиты получены на основе модельных экспериментов и расчетов [36] и было предложено два типа зон защиты: зона типа А, обладающая степенью надежности 99,5 % и выше, и типа Б – 95 % и выше. Степень надежности защиты объекта в любом случае возрастает, когда объект удаётся расположить в глубине зоны защиты молниеотводов.

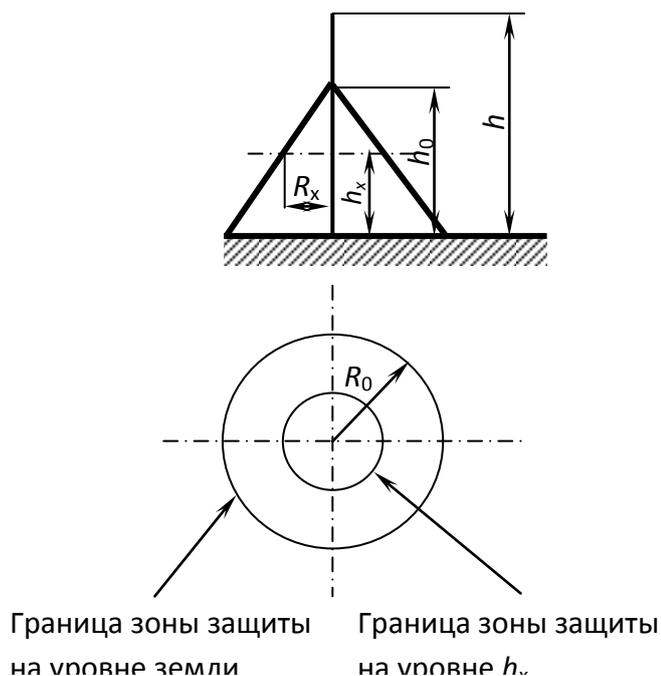


Рис. 10.5. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

По типу молниеприемников молниеотводы делятся на *стержневые*, *тросовые* и *сеточные*; по количеству и общей зоне защиты – на *одиночные*, *двойные* и *многократные*. Кроме того, различают молниеотводы отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания. Чаще используют стержневые молниеотводы. Ниже дается методика построения и расчета зон защиты для молниеотводов

высотой до 150 м [7], которые преимущественно поражаются нисходящими молниями.

При одиночном стержневом молниеотводе зона защиты (при $h \leq 150$ м) представляет собой конус (рис. 10.5). Вершина конуса находится на высоте $h_0 < h$. На уровне земли зона защиты образует круг радиусом R_0 . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защитного уровня сооружения h_x представляет собой круг радиусом R_x . Эти величины определяются следующим образом.

Зона типа А:

$$h_0 = 0,85h; \quad (10.4)$$

$$R_0 = (1,1 - 0,002h)h; \quad (10.5)$$

$$R_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x / 0,85). \quad (10.6)$$

Зона типа Б:

$$h_0 = 0,92h; \quad (10.7)$$

$$R_0 = 1,5h; \quad (10.8)$$

$$R_x = 1,5(h - h_x / 0,92), \quad (10.9)$$

где R_x и h_x определяются по закону подобия треугольников.

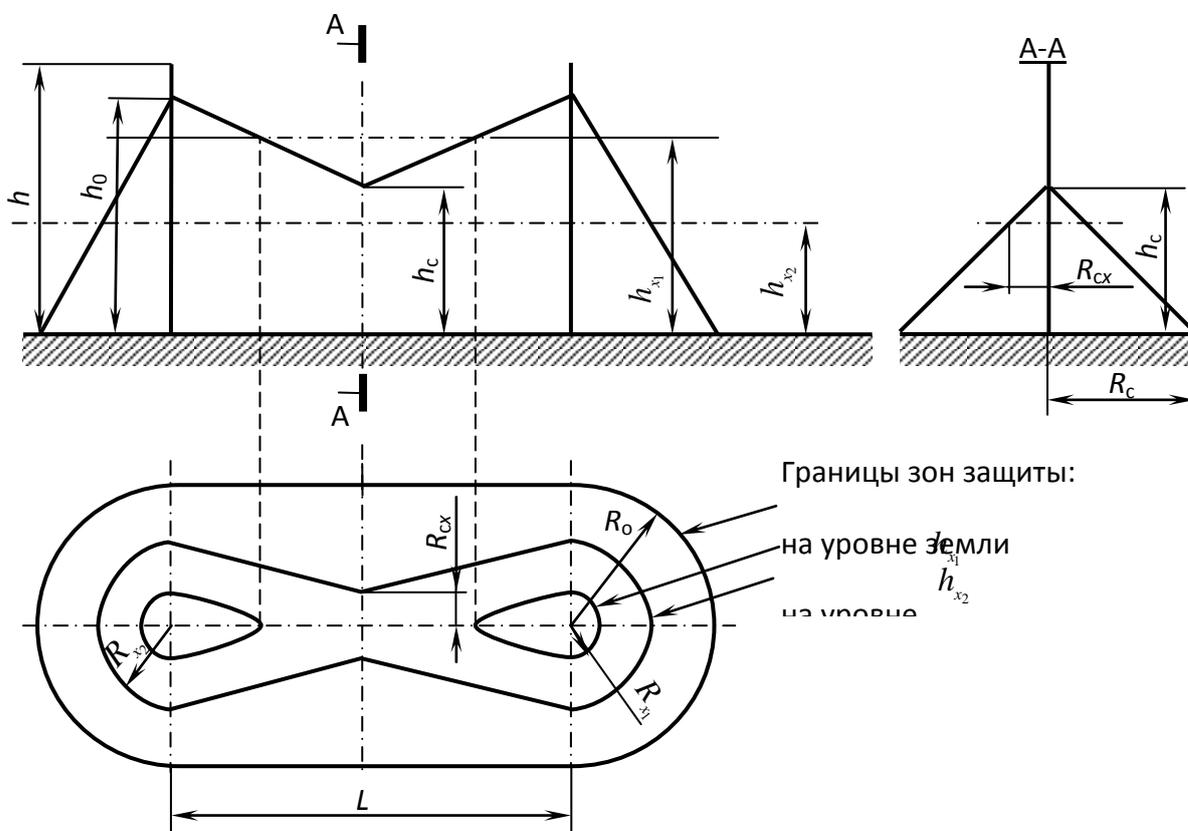


Рис. 10.6. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Для зоны типа Б высота молниеотвода при известных величинах R_x и h_x может быть определена по формуле

$$h = (R_x + 1,63h_x) / 1,5. \quad (10.10)$$

Двойной стержневой молниеотвод (рис. 10.6). Торцевые части зоны защиты определяются как зоны одиночных стержневых молниеотводов. Значения h_0 , R_0 , R_{x_1} и R_{x_2} определяются для обоих типов зоны защиты. Другие величины этой зоны:

Зона типа А (существует при $L \leq 4h$):

при $L \leq h$

$$h_c = h_0; \quad R_{cx} = R_x; \quad R_c = R_0; \quad (10.11)$$

при $h < L \leq 2h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot h)(L - h); \quad (10.12)$$

$$R_c = R_0; \quad (10.13)$$

$$R_{cx} = R_0(h_c - h_x) / h_c; \quad (10.14)$$

при $2h < L \leq 4h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot h)(L - h); \quad (10.15)$$

$$R_c = R_0[1 - 0,2(L - 2h) / h]; \quad (10.16)$$

$$R_{cx} = R_0(h_c - h_x) / h_c. \quad (10.17)$$

Зона типа Б (существует при $L \leq 6h$):

при $L \leq h$

$$h_c = h_0; \quad R_{cx} = R_x; \quad R_c = R_0; \quad (10.18)$$

при $h < L \leq 6h$

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h). \quad (10.19)$$

Величины R_c и R_{cx} определяются по формулам (10.16) и (10.17) соответственно. При известных h_c , L и $R_{cx} = 0$ высота молниеотвода для зоны типа Б определяется по формуле

$$h = (h_c - 0,14L) / 1,06. \quad (10.20)$$

Если стержневые молниеотводы находятся на расстоянии $L > 4h$ и $L > 6h$, их надо рассматривать как одиночные.

Двойной стержневой молниеотвод разной высоты (рис. 10.7). Торцевые части также представляют собой зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов соответствующей высоты, а h_{c_1} , h_{c_2} , R_{o_1} , R_{o_2} , R_{x_1} и R_{x_2} вычисляются для обоих типов зон. Остальные размеры зоны определяются по формулам

$$R_{cx} = R_c(h_c - h_x) / h_c; \quad (10.21)$$

$$R_c = (R_{o1} + R_{o2})/2; \quad (10.22)$$

$$h_c = (h_{c1} + h_{c2})/2, \quad (10.23)$$

где h_{c1} и h_{c2} для обоих типов зон защиты.

Для разновысокого двойного стержневого молниеотвода зона защиты типа А существует при $L \leq 4h_1$, а зона Б – при $L \leq 6h_1$. При соответствующих больших расстояниях между молниеотводами они рассматриваются как одиночные.

Множественный стержневой молниеотвод. Зона защиты множественного стержневого молниеотвода определяется как зона защиты попарно взятых соседних стержневых молниеотводов (рис. 10.8). Основным условием защищенности одного сооружения или группы сооружений высотой h_x с надежностью, соответствующей зонам типа А и Б, является неравенство $R_{cx} \geq 0$ для всех попарно взятых молниеотводов. В противном случае построение зон защиты должно быть выполнено для одиночных или двойных стержневых молниеотводов в зависимости от соотношений L и h .

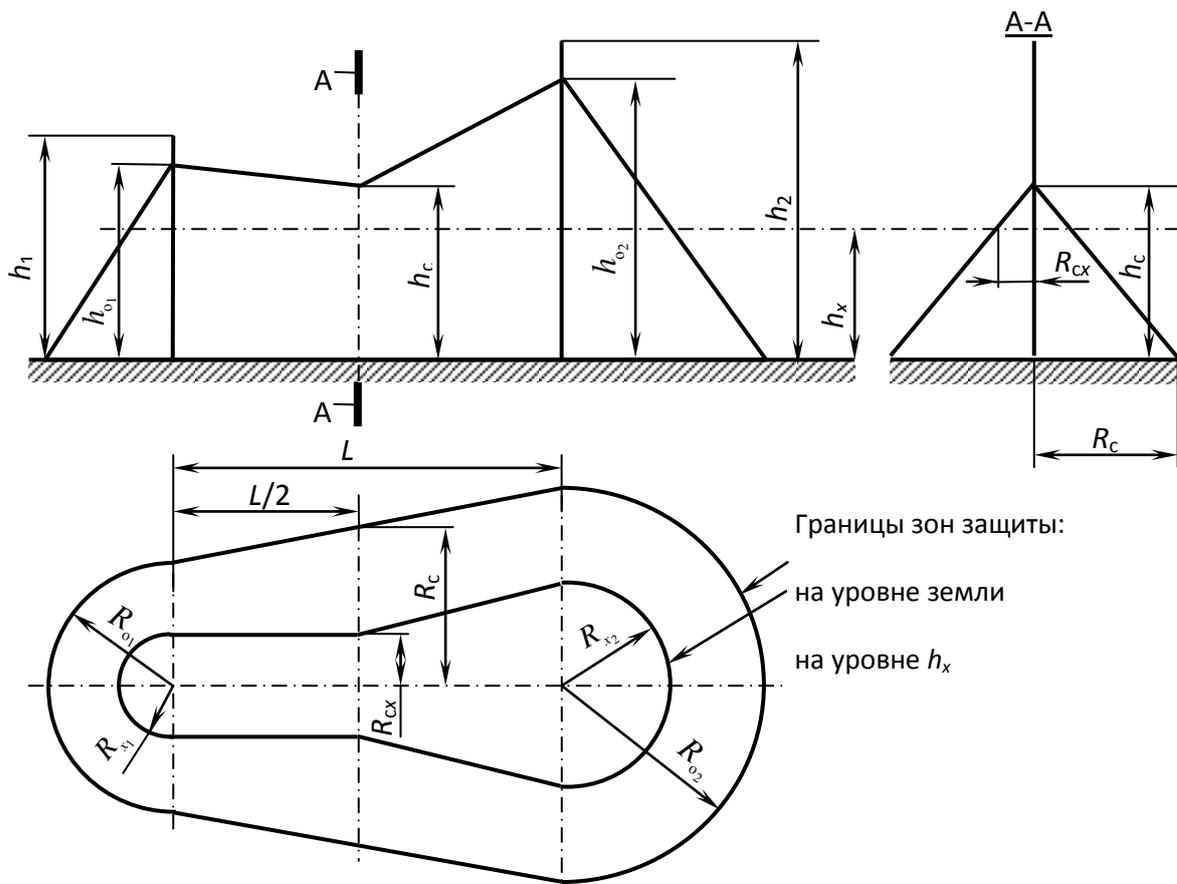


Рис. 10.7. Зона защиты двух стержневых молниеотводов разной высоты

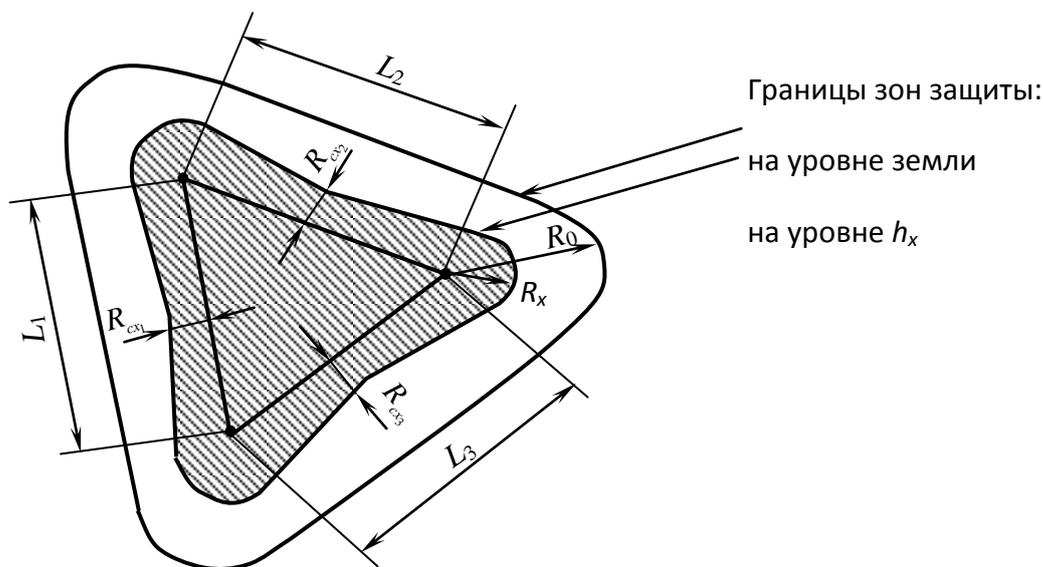


Рис. 10.8. Зона защиты (в плане) многократного стержневого молниеотвода

Одиночный тросовый молниеотвод (рис. 10.9). Здесь h – высота троса в точке наибольшего провеса. С учетом стрелы провеса троса сечением 35-50 мм² при известной высоте опор $h_{оп}$ и длине пролета $\alpha < 120$ м высота троса $h = h_{оп} - 2$ м, а при $\alpha = 120-150$ м $h = h_{оп} - 3$ м.

Конфигурацию и размеры зоны защиты одиночных тросовых молниеотводов определяют по формулам.

Зона типа А:

$$h_0 = 0,85h; \quad (10.24)$$

$$R_0 = (1,35 - 0,0025h)h; \quad (10.25)$$

$$R_x = (1,35 - 0,0025h)(h - h_x/0,85). \quad (10.26)$$

Зона типа Б:

$$h_0 = 0,92h; \quad (10.27)$$

$$R_0 = 1,7h; \quad (10.28)$$

$$R_x = 1,7(h - h_x/0,92). \quad (10.29)$$

Для зоны типа Б высота одиночного тросового молниеотвода при известных h_x и R_x равна

$$h = (R_x + 1,85h_x)/1,7. \quad (10.30)$$

Двойной тросовый молниеотвод (рис. 10.10). Здесь показаны очертания зоны защиты двойного тросового молниеотвода. Размеры h_0 , R_0 , R_x определяются для обоих типов зон защиты. Остальные габариты зоны защиты двойного тросового молниеотвода определяются следующим образом.

Зона типа А (существует при $L \leq 4h$):

при $L < h$

$$h_c = h_0; \quad R_{cx} = R_x; \quad R_c = R_0; \quad (10.31)$$

при $h < L \leq 2h$

$$h_c = h_0 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot h)(L - h);$$

$$R_x' = L/2[(h_0 - h_x)/(h_0 - h_c)];$$

$$R_c = R_0;$$

$$R_{cx} = R_0(h_c - h_x)/h_c;$$

при $2h < L \leq 4h$

$$R_c = R_0[1 - 0,2(L - 2h)/h]; \quad (10.32)$$

$$R_{cx} = R_c(h_c - h_x)/h_c. \quad (10.33)$$

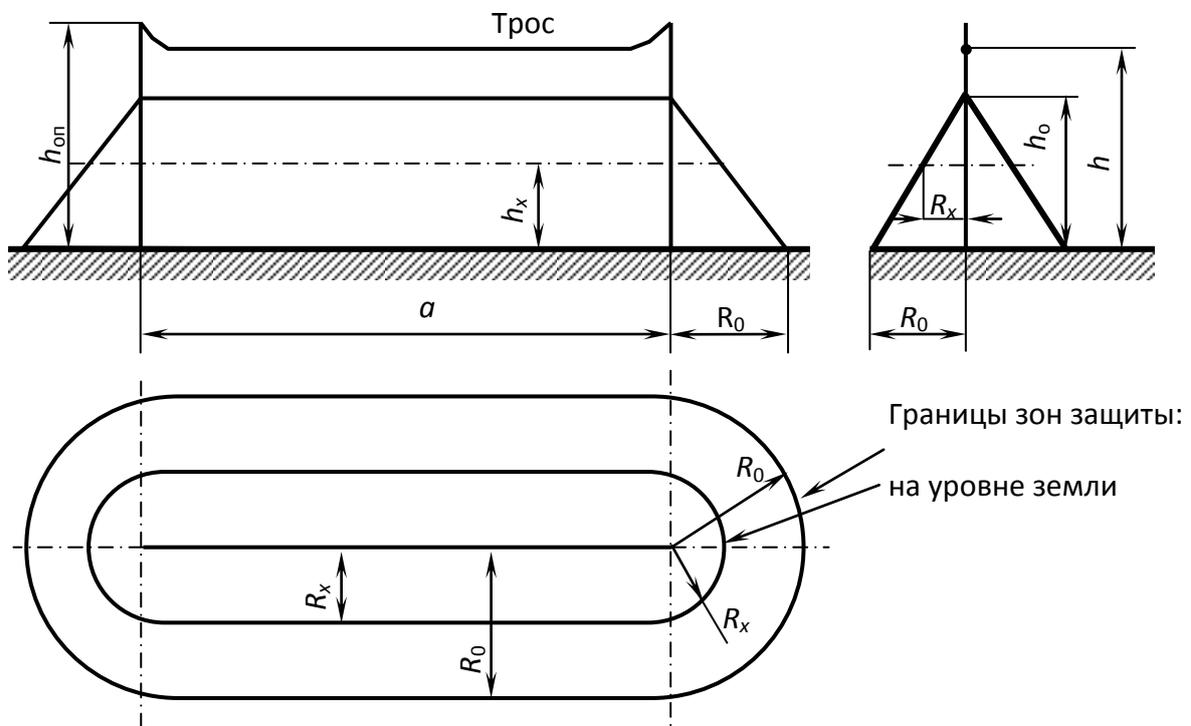


Рис. 10.9. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

Зона типа Б (существует при $L \leq 6h$):

при $L \leq h$

$$h_c = h_0; \quad R_{cx} = R_x; \quad R_c = R_0; \quad (10.34)$$

при $h < L \leq 6h$

$$h_c = h_0 - 0,12(L - h);$$

$$R_x' = L/2[(h_0 - h_x)/(h_0 - h_c)];$$

$$R_c = R_0; \quad R_{cx} = R_0(h_c - h_x)/h_c.$$

При известных h_c и L ($R_{cx} = 0$) высота тросового молниеотвода для зоны Б определяется по формуле

$$h = (h_c + 0,12h)/1,06. \quad (10.35)$$

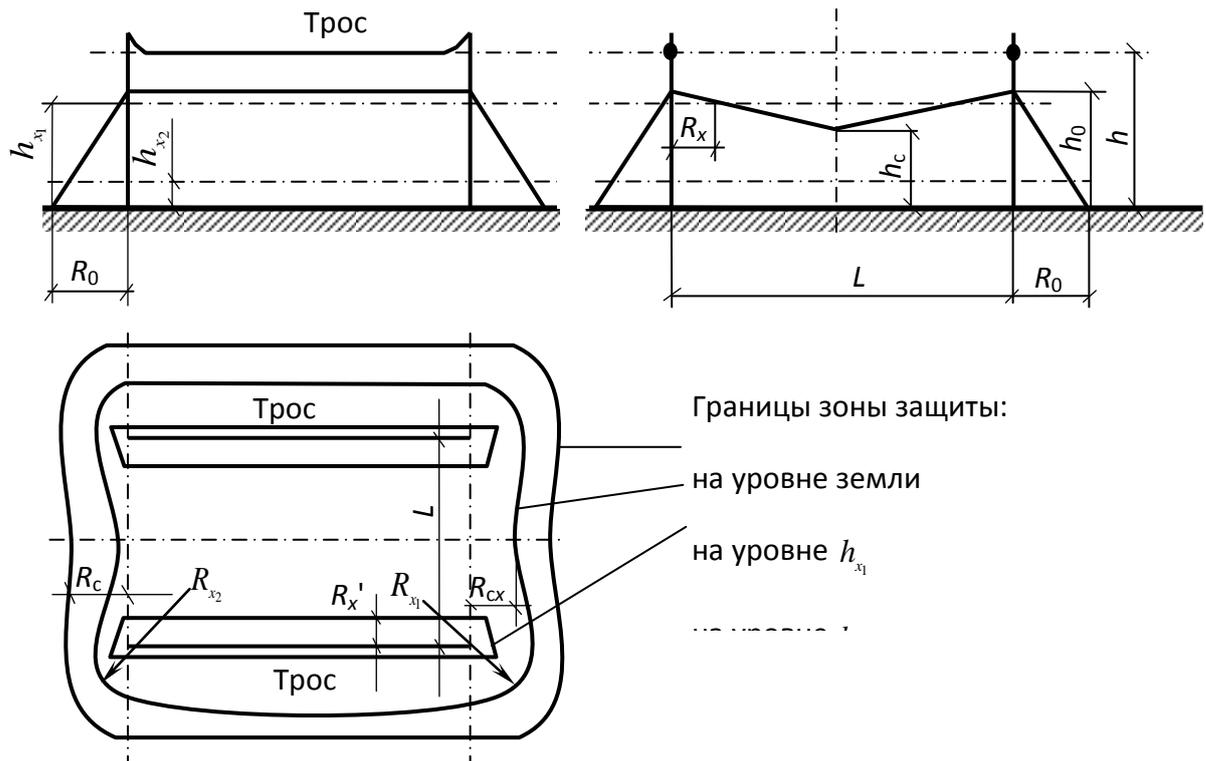


Рис. 10.10. Зона защиты двойного тросового молниеотвода

Зона защиты одиночных стержневых молниеотводов высотой $150 < h < 600$ м имеет следующие габаритные размеры.

Зона типа А:

$$h_0 = [0,85 - 1,7 \cdot 10^{-3}(h - 150)]/h; \quad (10.36)$$

$$R_0 = [0,8 - 1,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]/h; \quad (10.37)$$

$$R_x = [0,8 - 1,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]/h \left\{ 1 - \frac{h_x}{[0,85 - 1,7 \cdot 10^{-3}(h - 150)]/h} \right\}. \quad (10.38)$$

Зона типа Б:

$$h_0 = [0,92 - 0,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]/h; \quad (10.39)$$

$$R_0 = 225 \text{ м}; \quad (10.40)$$

$$R_x = 225 - \frac{225h_x}{[0,92 - 0,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]/h}. \quad (10.41)$$

На сегодняшний день объем фактических данных о поражаемости нисходящими молниями объектов большой высоты (более 150 м) очень мал и в большей своей части относится к Останкинской телевизионной башне. На основании фоторегистраций поражаемости нисходящими молниями башни утверждается [7], что нисходящие молнии прорываются

более чем на 200 м ниже ее вершины и поражают землю на расстоянии около 200 м от основания башни. Рассматривая Останкинскую телевизионную башню как стержневой молниеотвод, можно сделать вывод, что относительные размеры зон защиты молниеотводов высотой более 150 м резко сокращаются с увеличением высоты молниеотвода.

10.2 ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ

Защита зданий и сооружений I категории

Защиту от прямых ударов молнии выполняют отдельно стоящими стержневыми (рис. 10.11) или тросовыми молниеотводами (рис. 10.12). Тем самым резко снижаются перенапряжения между элементами здания и вероятность искрения. Молниеотводы должны обеспечивать зону защиты типа А. При ударе молнии в молниеотвод высокий потенциал приобретает все его части. Возникающие при этом разности потенциалов могут оказаться достаточными для пробоя изоляции между токоотводом и частями здания или пробоя в земле между заземлителем молниеотвода и подземными металлическими коммуникациями, связанными со зданием.

В связи с этим одним из основных элементов расчета молниезащиты здания I категории является определение минимально допустимых расстояний от молниеотвода до защищаемого здания. Они определяются по воздуху или земле на основании расчета потенциалов в тех точках, где может произойти наиболее вероятное перекрытие на здание. Согласно рис. 10.11 и 10.12, такими точками могут быть C , A и B . Потенциал этих точек зависит от величины амплитуды и крутизны тока, индуктивного или волнового сопротивления токоотвода, от длины участков l_A и l_B и от сопротивления заземлителя r_z , поскольку оно включено последовательно с этими участками.

Выбор заземлителя защиты от прямых ударов молнии (естественного или искусственного) определяется общими требованиями. При этом для отдельно стоящих молниеотводов приемлемыми являются варианты, приведенные в [7], с учетом следующих уточнений:

а) один (и более) железобетонный подножник длиной не менее 2 м или одна (и более) железобетонная свая длиной не менее 5 м;

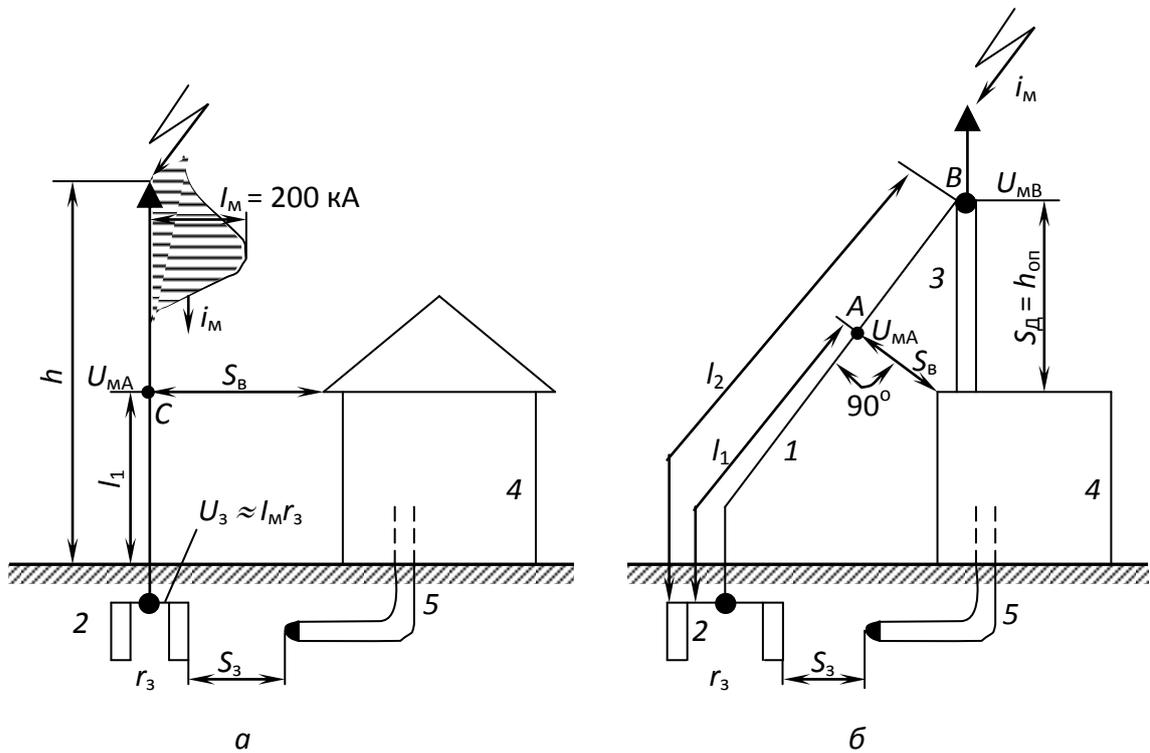


Рис. 10.11. Расчетная схема определения безопасных расстояний от отдельно стоящего стержневого молниеотвода до сооружения:

a - отдельно стоящий стержневой молниеотвод; *б* - изолированный молниеотвод на здании; *1* - токоотвод; *2* - заземлитель; *3* - опора изолированного молниеотвода; *4* - сооружение I категории; *5* - металлическая коммуникация

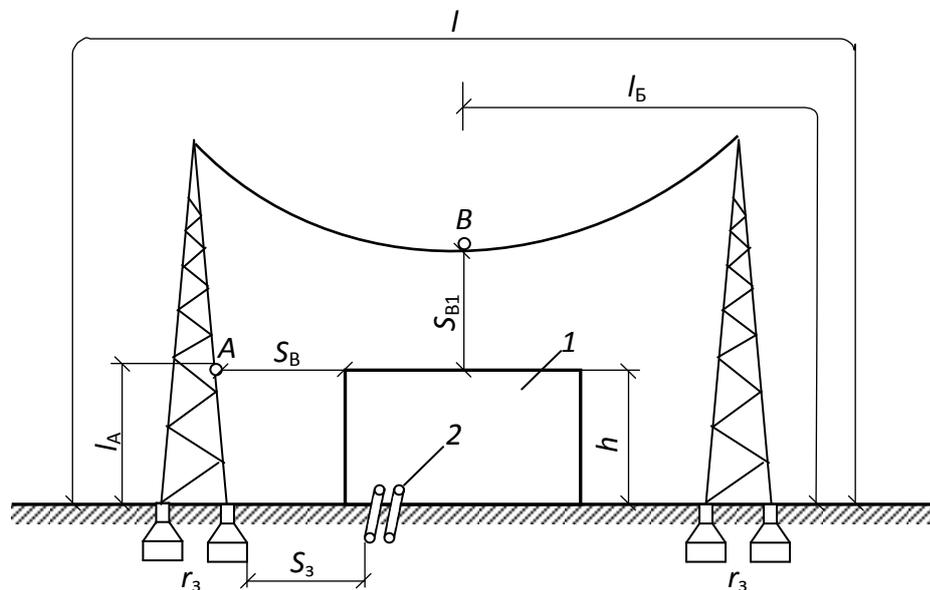


Рис. 10.12. Расчетная схема для определения безопасных расстояний от отдельно стоящего тросового молниеотвода до сооружения:

1 - защищаемый объект; *2* - металлические коммуникации

б) одна (и более) заглубленная в земле не менее чем на 5 м стойка железобетонной опоры диаметром не менее 0,25 м;

в) железобетонный фундамент произвольной формы с площадью поверхности контакта с землей не менее 10 м^2 ;

г) искусственный заземлитель, состоящий из трех и более вертикальных электродов длиной не менее 3 м, объединенных горизонтальным электродом, при расстоянии между вертикальными электродами не менее 5 м. Минимальные сечения (диаметры) электродов принимаются: круглые вертикальные диаметром не менее 10 мм; прямоугольные не менее 160 мм^2 , при толщине не менее 4 мм.

Наименьшее допустимое расстояние S_B по воздуху от защищаемого объекта до опоры (токоотвода) стержневого или тросового молниеотвода (см. рис. 10.11 и 10.12) определяется в зависимости от высоты здания, конструкции заземлителя и эквивалентного удельного сопротивления грунта.

Для зданий и сооружений высотой не более 30 м наименьшее допустимое расстояние S_B , м, определяется по табл. 10.1.

Таблица 10.1

Варианты конструкций заземлителей

S_B , м (рис. 8.19 и 8.20)	ρ , Ом·м	Вариант конструкции заземлителя
3	$\rho \leq 100$	1. Заземлитель любой конструкции (см. пп. а-г)
$3 + 10^{-2}(\rho - 100)$	$100 < \rho \leq 1000$	2. Одна железобетонная свая либо подножник или углубленная стойка железобетонной опоры, длины которых указаны в пп. а, б
4		3. Четыре железобетонные сваи или подножники, расположенные в углах прямоугольника на расстоянии 3-8 м один от другого, или железобетонный фундамент произвольной формы с площадью поверхности контакта с землей не менее 70 м^2 , или искусственный заземлитель, указанный в п. г

Для зданий и сооружений большей высоты определенное по табл. 10.1 S_B должно быть увеличено на 1 м в расчете на каждые 10 м высоты объекта сверх 30 м.

Наименьшее допустимое расстояние S_{B1} от защищаемого объекта до троса в середине пролета (рис. 10.12) определяется в зависимости от конструкции заземлителя, эквивалентного удельного сопротивления грунта ρ и суммарной длины l молниеприемников и токоотводов.

При длине $l < 200$ м наименьшее допустимое расстояние $S_{в1}$ определяется по табл. 10.2

Таблица 10.2

Наименьшие допустимые расстояния

$S_{в1}$, м (рис. 8.19)	ρ , Ом·м	Вариант конструкции заземлителя
3,5	$\rho \leq 100$	Заземлитель любой конструкции (см. пп. а-г)
$3,5 + 3 \cdot 10^{-3} (\rho - 100)$	$100 < \rho \leq 1000$	Заземлитель по варианту 2 (табл. 8.2)
4		Заземлитель по варианту 3 (табл. 8.2)

При суммарной длине молниеприемников и токоотводов $l=200-300$ м наименьшее допустимое расстояние $S_{в1}$ должно быть увеличено на 2 м по сравнению с определенными по табл. 10.1

Для исключения заноса высокого потенциала в защищаемое здание или сооружение по подземным металлическим коммуникациям любого назначения заземлители защиты от прямых ударов молнии должны быть удалены от этих коммуникаций на максимальные расстояния, допустимые по технологическим требованиям.

Наименьшие допустимые расстояния S_3 (см. рис. 10.11 и 10.12) в земле должны составлять $S_3 = S_{в} + 2(\text{м})$, при $S_{в}$ по табл. 10.2.

Зоны взрывоопасности. Для зданий и сооружений, имеющих газоотводные трубы, свечи или вентиляционные устройства, через которые происходит выброс взрывоопасных смесей горючих газов и паров в атмосферу, молниеотводы надо располагать так, чтобы контакт молнии с молниеприемником происходил вне пределов взрывоопасной зоны, которая должна вписываться в зону защиты молниеотвода. Необходимость выполнения этого требования тем более очевидна, если газоотводные или дыхательные трубы не имеют огнепреградителей. Размеры зон взрывоопасности, полученные исследованиями [8] и по инструкции [7], приведены в табл. 10.3.

В табл. 10.3 зоны взрывоопасности от обреза трубы приведены при наличии конических колпаков, или «гусаков», над газоотводными или дыхательными трубами. Для газоотводных и дыхательных труб, не оборудованных коническими колпаками, зоной взрывоопасности является пространство над их обрезом, ограниченное полушарием радиусом 5 м. Оно должно входить в зону защиты молниеотвода. Размеры зоны взрывоопасности установлены независимо от избыточного давления

взрывоопасной установки и наличия огнепреградителей на газоотводных трубах.

Таблица 10.3

Размеры зон взрывоопасности

Избыточное давление внутри установки, кПа	Плотность газа	Зоны взрывоопасности от обреза трубы, ограниченные цилиндром высотой H и радиусом R , м
Не более 5,05 (0,05 ат.)	Тяжелее воздуха	$H = 1$ м, $R = 2$ м
От 5,05 до 25,25 (0,05-0,25 ат.)	То же	$H = 2,5$ м, $R = 5$ м
Не более 25,25	Легче воздуха	$H = 2,5$ м, $R = 5$ м
Свыше 25,25	Любая	$H = 5$ м, $R = 5$ м

Молниезащита с учетом зон взрывоопасности не обязательна: для труб аварийного выброса горючих газов; труб с постоянно горящими факелами, поджигаемыми в момент выброса газов; при выбросе газов невзрывоопасной концентрации или при азотном дыхании технологических аппаратов; для вентиляционных шахт, предохранительных и аварийных клапанов, выброс газов взрывоопасной концентрации из которых осуществляется только в аварийных случаях.

Защита зданий и сооружений II категории

Защиту от прямых ударов молнии зданий и сооружений с металлической кровлей выполняют отдельно стоящими или установленными на зданиях неизолированными стержневыми, либо тросовыми молниеотводами, обеспечивающими тип зоны в зависимости от количества поражений. От каждого стержневого молниеприемника или от каждой стойки тросового молниеотвода на здании прокладывают два токоотвода. При использовании сосредоточенных заземлителей они должны быть проложены по противоположным сторонам зданий.

При уклоне кровли не более 1/8 может быть использована также молниеприемная сетка.

Молниеприемная сетка должна быть выполнена из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм и уложена на кровлю сверху или под несгораемые или трудносгораемые утеплитель или гидроизоляцию. Шаг ячеек сетки должен быть не более 6×6 м. Узлы сетки соединяются сваркой. Выступающие над крышей металлические элементы (трубы, шахты, вентиляционные устройства) необходимо присоединять к

молниеприемной сетке, а выступающие неметаллические элементы – оборудовать дополнительными молниеприемниками, присоединяемыми к молниеприемной сетке.

На зданиях и сооружениях с металлической кровлей в качестве молниеприемника необходимо использовать металлическую кровлю. При этом все выступающие неметаллические элементы необходимо оборудовать молниеприемниками, присоединяемые к металлу кровли.

Установка молниеприемников или наложение молниеприемной сетки не требуется для зданий и сооружений, имеющих металлические фермы, при условии, что в их кровлях используются негорючие или трудногорючие утеплители и гидроизоляция. Металлические фермы необходимо соединить токоотводами с заземлителями.

Токоотводы, соединяющие молниеприемную сетку или металлическую кровлю с заземлителями, прокладываются не реже чем через 25 м по периметру здания. Токоотводы, прокладываемые по наружным стенам зданий, следует располагать не ближе чем на 3 м от входа или в местах, недоступных для прикосновения к ним людей.

При использовании молниеприемной сетки и установке молниеприемников на защищаемом объекте, всюду, где возможно, в качестве токоотводов следует использовать металлические конструкции зданий и сооружений (колонны, фермы, рамы, металлические направляющие лифтов и т.п., а также арматуру железобетонных конструкций) при условии обеспечения непрерывной электрической связи в соединениях конструкций и арматуры с молниеприемниками и заземлителями, выполняемых, как правило, сваркой.

В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии следует использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений. При невозможности такого варианта предусматриваются искусственные заземлители:

при наличии стержневых и тросовых молниеотводов каждый токоотвод присоединяют к заземлителю;

при наличии молниеприемной сетки или металлической кровли по периметру здания или сооружения прокладывается наружный контур следующей конструкции:

в грунтах с эквивалентным удельным сопротивлением $\rho \leq 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при площади здания более 250 м^2 выполняется контур из горизонтальных

электродов, уложенных в земле на глубине не менее 0,5 м, а при площади здания менее 250 м² к этому контуру в местах присоединения токоотводов приваривается по одному вертикальному или горизонтальному лучевому электроду длиной 2-3 м;

в грунтах с $500 < \rho \leq 1000$ Ом·м при площади здания более 900 м² достаточно выполнить контур только из горизонтальных электродов, а при площади здания менее 900 м² к этому контуру в местах присоединения токоотводов приваривается не менее двух вертикальных или горизонтальных лучевых электродов длиной 2-3 м на расстоянии 3-5 м один от другого.

В зданиях большой площади (шириной более 100 м) наружный контур заземления может использоваться и для выравнивания потенциала внутри здания.

Во всех возможных случаях заземлитель защиты от прямых ударов молнии необходимо объединять с заземлителями электроустановок.

При установке отдельно стоящих молниеотводов расстояние от них по воздуху и в земле до защищаемого объекта и вводимых в него подземных коммуникаций не нормируется.

Для зданий и сооружений, имеющих газоотводные трубы и свечи, молниезащита проектируется с учетом зон взрывоопасности, как и для зданий I категории.

Защита взрывоопасных наружных технологических установок и открытых складов

Защита указанных в заголовке сооружений от прямых ударов молнии определяется рядом условий и специфических особенностей: материалом корпуса (металл, железобетон или синтетика); наличием дыхательной и предохранительной аппаратуры и возможностью выделения через нее (или неплотности крыши) горючих паров и газов и образования зон взрывоопасности; наличием большого количества горючих и легковоспламеняющихся жидкостей или горючих газов и т.д. [7]. Так, для защиты от прямых ударов молнии металлических установок или отдельных резервуаров при толщине металла крыши 4 мм и более и отсутствии дыхательных клапанов, а также отдельных резервуаров объемом меньше 200 м³ (независимо от толщины металла) достаточно заземлить корпус.

Технологические установки и резервуары при толщине металла крыши 4 мм защищают отдельно стоящими или устанавливаемыми на них молниеотводами. Установки класса В-1г, корпуса которых выполнены из железобетона или синтетических материалов, защищают любым молниеотводом или укладывают на крышу молниеприемную сетку, присоединяя ее к заземлителю. Она допускается только при полной герметичности крыши.

Парк резервуаров со сжиженными газами при общем объеме более 8 тыс. м³, а также парки резервуаров из любого материала с общим объемом более 100 тыс. м³ защищают от прямых ударов молнии, как правило, отдельно стоящими молниеотводами. При защите металлических резервуаров отдельно стоящими молниеотводами корпуса резервуаров присоединяют к заземлителям; к этим же заземлителям допускается присоединение токоотводов отдельно стоящих молниеотводов. Парки подземных железобетонных резервуаров (класса В-1г), не облицованных внутри металлом, защищают только отдельно стоящими молниеотводами. В зону защиты молниеотводов должны входить: вся площадь крыши резервуаров и часть площади круга с радиусом 40 м от стенок крайних резервуаров. Высота молниеотводов должна быть равна высоте дыхательной аппаратуры плюс 2,5 м.

Парки подземных железобетонных резервуаров, содержащих мазут, при подмешивании к нему легких углеводородов и при подогреве должны защищаться от прямых ударов молнии также, как и подземные железобетонные резервуары с ЛВЖ, однако в зону защиты необходимо включать пространство с основанием, совпадающим с размерами резервуаров. Если на наружных технологических установках или резервуарах класса В-1г имеются газоотводные трубы, дыхательные или предохранительные клапаны, то они и зоны взрывоопасности около них также должны входить в зону защиты молниеотводов.

Исследованиями установлено, что размеры взрывоопасных зон для наземных вертикальных резервуаров со стационарными крышами и емкостью от 3 до 20 тыс. м³ зависят в основном от мощности выброса паров и газов и скорости ветра. Эти зоны можно определить по графику (рис. 10.13). На нем размеры взрывоопасных зон X_m соответствуют скорости ветра 1 м/с. При увеличении скорости ветра до 2 м/с размеры взрывоопасных зон можно уменьшить в 2 раза. При пользовании графиком

следует иметь в виду: нулевой размер зоны означает, что вся площадь крыши резервуара является взрывоопасной зоной; размеры взрывоопасных зон для резервуаров, заполняемых сырой нефтью, могут быть уменьшены на 10 % по сравнению с зонами соответствующих бензинов. Для других наружных технологических установок класса В-1г, имеющих газоотводные и дыхательные трубы, размеры взрывоопасных зон определяются по табл. 10.3 и нормам [7].

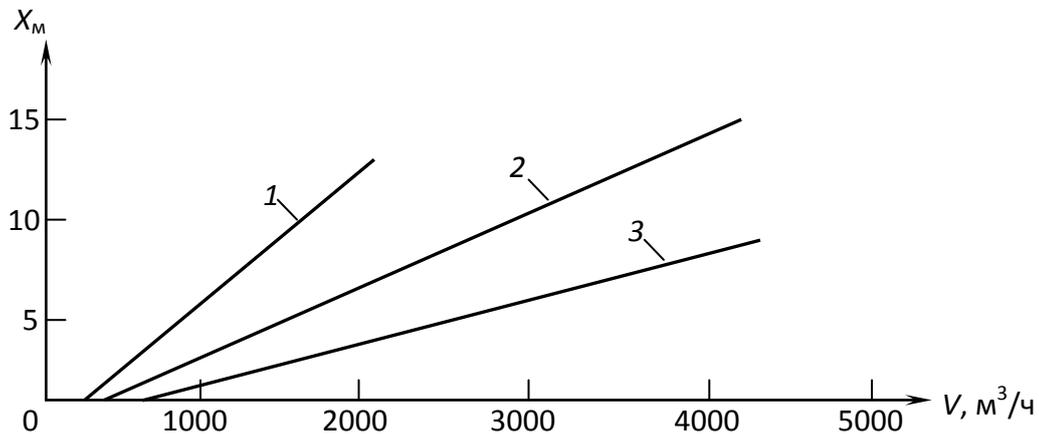


Рис. 10.13. Размеры взрывоопасных зон для вертикальных резервуаров:

1 – нестабильные бензины (для них V – мощность выбросов паров и газов); 2 – стабильные бензины при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – стабильные бензины при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для стабильных бензинов V – производительность закачки)

Такое же пространство защищается над срезом горловины цистерн, в которые происходит открытый (негерметизированный) налив продукта на сливной эстакаде. Защите от прямых ударов молнии подлежат также дыхательные клапаны и пространство над ними, ограниченное цилиндром высотой 2,5 м с радиусом 5 м.

Для резервуаров с плавающими крышами или понтонами в зону защиты молниеотводов должно входить пространство, ограниченное поверхностью, любая точка которой отстоит на 5 м от легковоспламеняющейся жидкости в кольцевом зазоре.

Очистные сооружения защищают от прямых ударов молнии в том случае, когда температура вспышки содержащегося в сточных водах продукта превышает его рабочую температуру менее чем на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В зону защиты молниеотводов должно входить пространство, основание которого выходит за пределы очистного сооружения на 5 м в каждую сторону от его стенок, а высота равна высоте сооружения плюс 3 м.

Для всех наружных взрывоопасных установок в качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии следует, по возможности, использовать их железобетонные фундаменты или опоры отдельно стоящих молниеотводов, либо выполнять искусственные заземлители, состоящие из одного вертикального или горизонтального электрода длиной не менее 5 м. К этим заземлителям должны присоединяться корпуса наружных установок или токоотводы установленных на них молниеприемников.

Число присоединений и соответственно количество заземлителей зависит от периметра основания установки. Необходимо, чтобы присоединения располагались не более чем в 50 м друг от друга, но число присоединений должно быть не менее двух.

Защита зданий и сооружений III категории

Защита от прямых ударов молнии обычно выполняется одним из способов, рекомендуемых для II категории. Отличием является лишь то, что площадь ячейки молниеприемной сетки допускается с шагом не более 12×12 м.

В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии следует использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений. При невозможности их использования выполняют искусственные заземлители:

каждый токоотвод от стержневых и тросовых молниеприемников должен присоединяться к заземлителю, состоящему минимум из двух вертикальных электродов длиной не менее 3 м, объединенных горизонтальным электродом длиной не менее 5 м;

при варианте применения молниеприемной сетки или использования металлической кровли в качестве молниеприемников по периметру здания в земле на глубине 0,5 м прокладывается наружный контур, состоящий из горизонтальных электродов. В грунтах с $500 < \rho \leq 1000$ Ом·м и при площади здания менее 900 м² к этому контуру в местах присоединения токоотводов следует приваривать по одному вертикальному или горизонтальному лучевому электроду длиной 2-3 м.

В зданиях большей площади (шириной более 100 м) наружный контур заземления может также использоваться для выравнивания потенциалов внутри здания.

Молниезащиту пожароопасных наружных установок класса П-III, содержащих горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С, рекомендуется выполнять следующим образом:

корпуса установок из железобетона, а также корпуса установок и резервуаров при толщине крыше менее 4 мм оборудуются отдельно стоящими или установленными на защищаемом сооружении молниеотводами;

металлические корпуса установок и резервуаров при толщине крыши 4 мм и более достаточно присоединить к заземлителю;

над дыхательными и газоотводными трубами и клапанами зона взрывоопасности не учитывается.

Конструкция заземлителей и их число принимаются как для взрывоопасных наружных установок класса В-1г.

10.3 ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ВТОРИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МОЛНИИ

Защите от вторичных воздействий молнии (электростатической и электромагнитной индукции) подлежат здания и сооружения I и II категории и некоторые виды наружных установок классов В-1г и П-III. Она почти всегда сочетается с защитой от статического электричества.

Защита зданий I категории от электростатической индукции выполняется присоединением металлических корпусов всего оборудования и металлических конструкций здания к защитному заземлителю электроустановок, железобетонному фундаменту или специальному заземлителю.

Для защиты от искрения, обусловленного электромагнитной индукцией, все трубопроводы и другие протяженные металлические предметы здания и оборудования на участке их взаимного сближения на 10 см и меньше необходимо электрически соединять перемычками через каждые 20 м. Для кабелей с металлическими оболочками или броней перемычки должны выполняться из гибкого медного проводника в соответствии с указаниями СНиП 3.05.06-85. Необходимо также обеспечить переходное сопротивление каждого электрического контакта не более 0,03 Ом во всех местах соединений трубопроводов (например, на

фланцах) и других протяженных предметов. Если переходное сопротивление более 0,03 Ом, то на соединении устраивается перемычка.

Защита от опасности заноса высокого потенциала по линиям электропередачи напряжением до 1000 В сетей телефона, радио, сигнализации и др. обеспечивается тем, что ввод воздушных линий в здания должен осуществляться только кабелями длиной не менее 50 м с металлической броней или оболочкой или кабелями, проложенными в металлических трубах. На вводе в здание металлические трубы, броня и оболочки кабелей, в том числе с изоляционным покрытием металлической оболочки (например, ААШв, ААШп), должны быть присоединены к железобетонному фундаменту здания или к искусственному заземлителю.

В месте перехода воздушной линии в кабельную вставку металлические оболочки и броня кабеля, а также штыри или крючья изоляторов должны присоединяться к заземлителю. В этом же месте между каждой жилой кабеля и заземленными элементами должны быть устроены закрытые воздушные искровые промежутки с межэлектродным расстоянием 2-3 мм или установлен низковольтный разрядник, например РВН-0,5. У следующей ближайшей опоры воздушной линии - также заземлитель и к нему должны быть присоединены штыри и крючья изоляторов.

Для защиты от заносов высоких потенциалов по подземным металлическим коммуникациям (трубопроводы, кабели в наружных металлических оболочках и трубах) при вводе в здание или сооружение эти коммуникации присоединяют к арматуре их железобетонных фундаментов, к заземлителю электроустановок или специальному заземлителю.

В здание допускается вводить трубопроводы и кабели, монтируемые на эстакадах. У ввода в здание и на двух ближайших к этому вводу опорах эстакады трубопроводы и металлические оболочки кабелей присоединяют к заземлителям. В качестве заземлителей следует использовать железобетонные фундаменты здания и каждой из опор, а при невозможности - искусственные заземлители.

Защита зданий II категории от электростатической индукции обеспечивается присоединением металлических корпусов всего оборудования к защитному заземлению электроустановок или железобетонному фундаменту здания. Плавающие крыши (понтон) резервуаров в установках классов В-1г и П-III независимо от материала

крыш и корпусов резервуаров соединяют гибкими металлическими перемычками с токоотводами или металлическим корпусом не менее чем в двух точках. Защита от электромагнитной индукции выполняется как и в зданиях I категории, но перемычки устанавливаются через 30 м в местах опасного сближения. Перемычки в местах соединений (на фланцах) трубопроводов и других протяжных конструкций не требуются.

Ввод воздушных линий любого назначения непосредственно в здание не допускается. Необходимо прокладывать кабельную вставку от воздушных линий, как и для I категории. Для защиты от заноса высоких потенциалов по подземным коммуникациям при вводе в здание или сооружение их необходимо присоединить к любому из заземлителей. Эстакадные трубопроводы на вводе в здание следует подключать к заземлителю электроустановок или заземлителю молниеотвода, а на ближайшей к вводу опоре эстакады - к ее железобетонному фундаменту.

При невозможности использования фундамента должен быть установлен искусственный заземлитель, состоящий из одного вертикального или горизонтального электрода длиной не менее 5 м.

Защита зданий III категории. Ввод воздушных линий напряжением до 1000 В в здания должен выполняться в соответствии с [1], а линии связи, сигнализации, радио - по указаниям соответствующих ведомств.

Для защиты от заноса высоких потенциалов трубопроводы и металлические оболочки кабелей, проложенные на эстакадах, следует присоединять на вводе в здание к заземлителям молниеотводов или к защитному заземлению электроустановок.

11 ЗАЩИТА ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ОТ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Ряд производственных процессов с участием твердых, жидких или газообразных диэлектрических сред сопровождается статической электризацией, т.е. возникновением и разделением положительных и отрицательных зарядов. Иногда эти заряды быстро стекают в землю, рассеиваются или нейтрализуются. В других случаях они накапливаются и создают поле с высокой электрической напряженностью, обуславливающее электрические разряды (пробои воздуха или среды). В производствах, связанных с применением легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, газов с наличием горючих пылей и волокон, искровые разряды статического электричества могут вызвать взрыв и пожар. В некоторых случаях статическое электричество приводит к браку продукции, препятствует увеличению скорости работы машин и аппаратов и, следовательно, повышению производительности труда. При определенных условиях разряды статического электричества причиняют травмы обслуживающему персоналу.

11.1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

Возникновение статического электричества – сложный процесс, зависящий от множества факторов, и в настоящее время нет еще единой теории, объясняющей это явление. Наиболее распространена гипотеза о контактной электризации веществ и материалов. Согласно этой гипотезе, электризация возникает при соприкосновении двух разнородных веществ, обладающих различными атомными и молекулярными силами притяжения на поверхности соприкосновения. Одна из контактирующих поверхностей должна быть из диэлектрического материала. При этом происходит перераспределение электронов или ионов веществ, образующее двойной электрический слой с зарядами противоположных знаков.

Однако образование двойных электрических слоев возможно при контакте тел и из одинаковых диэлектрических материалов за счет наличия на их поверхностях загрязнений, различной температуры тел и т.д. Находящиеся в контакте тела с образовавшимся на границе раздела

двойным электрическим слоем остаются электрически нейтральными, т.е. суммарный заряд системы может быть равен нулю, если до соприкосновения тела не несли избыточного заряда. Каждое из контактирующих тел приобретает электрический заряд, плотность которого равна плотности заряда, возникшего двойного электрического слоя. Знаки зарядов взаимодействующих тел противоположны. Заряды будут оставаться на поверхности тел после их разделения, если время разрушения контакта между ними будет меньше времени релаксации зарядов.

При оценке наэлектризованности пользуются удельной поверхностной (у твердых диэлектриков) или объемной (у сыпучих и жидких диэлектриков) плотностью заряда, а в некоторых случаях удельным зарядом, приходящимся на единицу длины. Наэлектризованные тела или их участки, несущие заряды статического электричества, оказывают силовое воздействие друг на друга. В окружающем их пространстве образуется электрическое поле, действие которого проявляется и обнаруживается при внесении в него заряженных и нейтральных предметов. Основными параметрами, характеризующими электрическое поле зарядов, являются напряженность электрического поля и потенциалы его отдельных точек.

Контактная разность потенциалов не одинакова и зависит от диэлектрических свойств соприкасающихся материалов, их физического состояния, величины давления поверхностей друг на друга, а также от влажности, температуры поверхности и окружающей среды. При разделении поверхностей с возникшей контактной электризацией каждая из них сохраняет свой заряд, а контактная разность потенциалов по мере уменьшения емкости между поверхностями может достигать десятков и сотен киловольт. Так, при максимальной плотности (30 мкКл/м^2 и более) увеличение расстояния между наэлектризованными поверхностями на 1 см повышает разность потенциалов на десятки киловольт. Этим и объясняются высокие потенциалы, встречающиеся в производстве. Экспериментами установлено также, что из двух трущихся веществ положительно заряжается то, у которого диэлектрическая проницаемость больше. Если вещества имеют одинаковую диэлектрическую проницаемость, то заряды не возникнут. В ряде технологических процессов потенциал относительно земли (или проводящих

металлических тел, связанных с землей) при статической электризации достигает десятков киловольт. Ниже приведены потенциалы от электрического поля статического электричества, кВ.

Таблица 11.1

Значения потенциалов статического электричества

В кинофотопленочной промышленности	15 и выше
На предприятиях резиновой промышленности и искусственной кожи	10-15
В производствах, связанных с размолотом, тонким добавлением и т.д.	10-15
При разбрызгивании красок	10
При трении целлулоида	40
При движении резиновой ленты транспортера (со скоростью 4 м/с)	45
При фильтрации смеси бензина с асфальтом через шелк	335

Токи при статической электризации составляют обычно несколько микроампер и даже меньше. Так, при протекании к цистернам бензина по трубопроводу был измерен ток от 1 до 10 мкА и этот ток оказался прямо пропорционален скорости течения бензина.

Статическое электричество может накапливаться и на людях, особенно если на человеке обувь с непроводящими электричество подошвами, одежда и белье из шерсти, шелка и искусственного волокна, а также при движении по токонепроводящему полу и при выполнении ручных операций с диэлектриками. Потенциал изолированного от земли тела человека может превышать 7 кВ. Иногда (в зависимости от вида полимера и интенсивности трения частей костюма) этот потенциал может достигать 14-45 кВ.

Гипотеза о контактной разности потенциалов не может дать количественной, а иногда и качественной оценки процесса электризации. Однако наряду с этой гипотезой имеются и другие, где образование двойного электрического слоя объясняется поверхностной ориентацией нейтральных молекул, содержащих электрические диполи, пьезоэлектрическими явлениями, трением или образованием электролита на контактирующих поверхностях и т.д. Таким образом, при статической электризации могут наблюдаться процессы, которые пока еще изучены недостаточно, поэтому для борьбы со статическим электричеством в конкретных условиях требуются предварительные экспериментальные исследования и проверка предложенных защитных мер.

11.2 ВОСПЛАМЕНЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИСКР СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЕГО ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Когда на разделенных поверхностях веществ образуются электрические заряды Q и эти поверхности становятся пластинами конденсатора с емкостью C , между ними возникает напряжение U , равное

$$U = Q / C, \quad (11.1)$$

где U – напряжение, В; C – емкость, Ф; Q – заряд, Кл.

Энергия искры ($W_{и}$, Дж), способной возникнуть под действием этого напряжения (или напряжения между пластиной и каким-либо заземленным предметом), может быть оценена по запасенной конденсатором энергии

$$W_{и} = 0,5 CU^2, \quad (11.2)$$

поэтому воспламеняющую способность искровых зарядов характеризуют в основном их энергией. Однако формула (11.2) не может быть использована для расчета энергии разряда между заряженными диэлектрическими поверхностями, так как только часть накопленного заряда на диэлектрике может быть перенесена в разряде.

Энергия $dW_{и}$, рассеиваемая при переносе бесконечно малого заряда dq с заряженной поверхности, при разряде равна

$$dW_{и} = U dq, \quad (11.3)$$

где U – разность потенциалов между начальной и конечной точками траектории разряда.

Полная энергия определяется по формуле

$$W_{и} = \int_0^q U dq. \quad (11.4)$$

Определение полной энергии, выделенной в разряде, представляет значительную трудность, так как заряженные диэлектрики имеют неэквипотенциальную поверхность. Кроме того, поверхность заряженного диэлектрика, которая отдает заряд, не имеет точных размеров. В этом случае энергию электростатического разряда можно приближенно определить, если принять в формуле (11.4) вместо переменной U максимальный потенциал на диэлектрической поверхности, рассчитанный по пробивному расстоянию для данной конфигурации электродов. Для

определения полного заряда, переносимого в единичном разряде с заряженного диэлектрика, можно использовать метод осциллографирования.

В некоторых случаях для приближенной оценки энергии разрядов статического электричества с диэлектрических поверхностей применяют методы непосредственного контроля искровых разрядов статического электричества (на слух, по физиологическому воздействию, визуально и фотографированием и др.), аналитические методы, а также экспериментальное воспламенение горючих смесей электростатическими разрядами. Следует отметить, что экспериментальное исследование воспламеняющей способности электростатических разрядов является наиболее объективным методом оценки их энергии.

Реальная воспламеняющая способность электрической искры зависит от концентрации, температуры и давления взрывоопасной смеси. Условием воспламенения (взрыва) такой смеси от искры статического электричества является следующее:

$$W_{и} \geq W_{мин}, \quad (11.5)$$

где $W_{и}$ – энергия разряда статического электричества с заряженного материала (зависит от свойств материала, конструкции аппарата, технологического процесса и др.); $W_{мин}$ – минимальная энергия зажигания горючей смеси, образование которой возможно в данном технологическом процессе (зависит только от свойств горючей смеси и является характеристикой чувствительности ее к воспламенению), определяется экспериментально.

Обычно минимальная энергия, необходимая для воспламенения пылевоздушных взрывоопасных смесей, выше энергии, воспламеняющей паровоздушные взрывоопасные смеси. Например, для многих паро- и газоздушных взрывоопасных смесей $W_{мин}$ составляет 0,009...2 мДж, а для пылевоздушных – 2...250 мДж. Примеры минимальных энергий приводятся в правилах [9]. Разряды статического электричества не в состоянии воспламенять смеси с минимальной энергией воспламенения 100 мДж и выше.

Средняя напряженность электрического поля, при которой возможен разряд, составляет $4 \cdot 10^2 \dots 5 \cdot 10^2$ кВ/м для резко неоднородного, $1,5 \cdot 10^2 \dots 20 \cdot 10^2$ кВ/м для слабонеоднородного и до $30 \cdot 10^2$ кВ/м для однородного электрического поля.

При разности потенциалов 3 кВ искровой разряд может воспламенить почти все горючие газы, а при 5 кВ также большую часть горючих пылей.

Степень электризации предмета (машины, аппарата и т.п.) или вещества является безопасной, если измеренная поверхностная плотность заряда σ , напряженность поля E или потенциал V на любом участке этой поверхности не превосходит допустимых значений в этой среде. При этом допустимыми считаются такие значения σ , E и V , при которых максимально возможная энергия разряда с поверхности данного предмета или вещества не превосходит 1/4 минимальной энергии воспламенения окружающей среды (например, смеси горючих паров жидкости с воздухом).

Таким образом, статическое электричество может вызвать воспламенение взрывоопасной смеси при совокупности следующих условий:

- наличии источника статических электрических разрядов;
- накоплении значительных зарядов на контактирующих поверхностях;
- достаточной разности потенциалов для электрического пробоя среды;
- наличии достаточной запасенной электрической энергии;
- возможности возникновения электрических разрядов.

Отсутствие любого из условий исключает пожаровзрывоопасные последствия статического электричества.

Условие безопасности от статического электричества может быть выражено неравенством

$$W_{\text{и}} \leq 0,4W_{\text{мин}}. \quad (11.6)$$

В пожаро- и взрывоопасных производствах реальную опасность представляет «контактная» электризация людей, работающих с движущимися диэлектрическими материалами (при прорезинивании тканей, покрытии резиной кордов на каландрах, обработке синтетических тканей и нитей, полимерных пленок и т.д.). На человеке накапливается статическое электричество, которое при соприкосновении человека с заземленным предметом вызывает искры и воспламенение смеси. Энергия разряда этой искры может составлять 2,5-7,5 мДж. Кроме того, такое электричество оказывает неприятное физиологическое воздействие на человека, вызывая слабые, умеренные или сильные уколы или удары, зависящие от энергии разряда. Так как ток при этом незначителен, уколы и удары непосредственную опасность для человека не представляют. Но

известны случаи с тяжелым исходом, когда искра, проскакивающая между телом человека и заряженным объектом, вызывает испуг, сопровождающийся произвольными нескоординированными движениями и соприкосновением с неогороженными вращающимися частями машин, падение с высоты и т.п. Длительное воздействие статического электричества является причиной ряда заболеваний.

Расчетная зависимость, показывающая, при каком значении будет существовать опасность физиологического воздействия на человека и при каком потенциале возникает опасность воспламенения некоторых горючих смесей, представлена на рис. 11.1. Границы зон видов физиологического воздействия несколько условны, так как это воздействие зависит от особенностей человеческого организма и специфики производства. Поэтому допустимым потенциалом на человеке по физиологическому воздействию считают $V_{\text{доп}} = 4 \dots 6$ кВ. Допустимый же потенциал по пожаро- и взрывоопасности для некоторых сред определяется непосредственно по кривой (см. рис. 11.1).

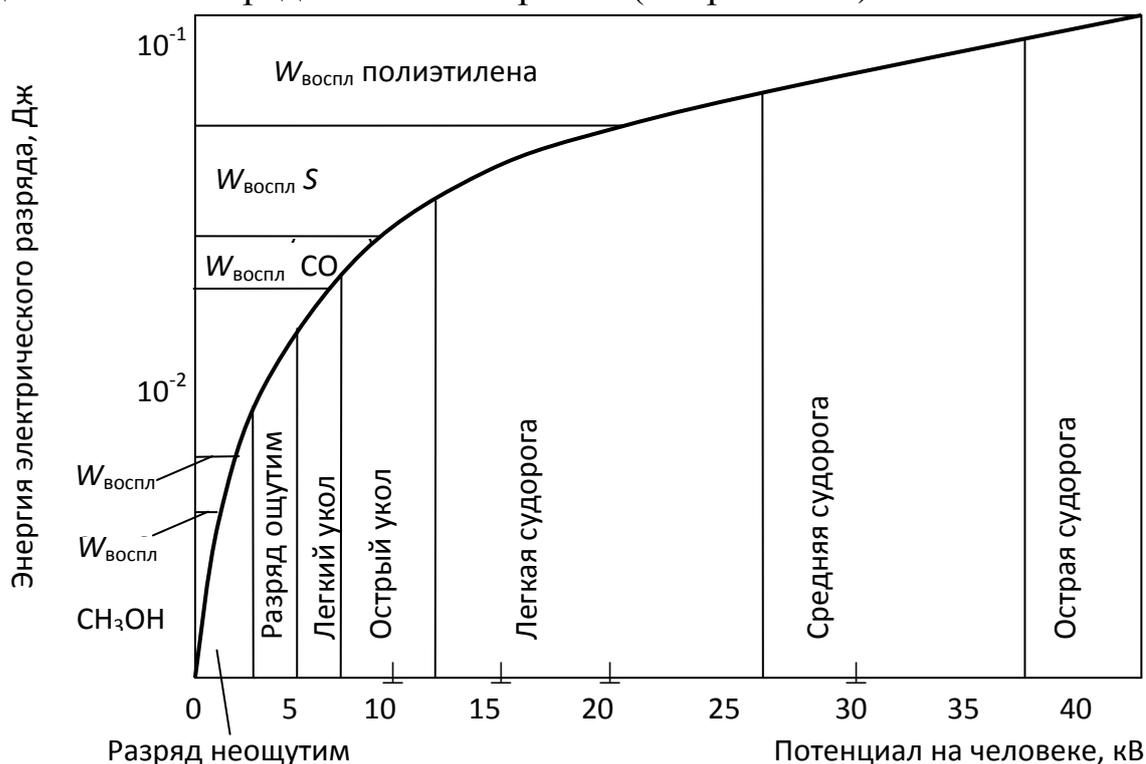


Рис. 11.1. Зависимость энергии электрического разряда с тела человека и физиологического воздействия от потенциала зарядов статического электричества

Чтобы исключить формирование воспламеняющих разрядов с человека, необходимо обеспечить быструю утечку зарядов. С этой целью уменьшают сопротивление обуви и пола. В производствах, где существует

опасность воспламенения взрывоопасных смесей разрядом с человека, необходимо обеспечивать работающих электропроводящей (антистатической) обувью (например, с кожаным верхом и подошвой из электропроводящей резиновой пластины).

Обувь считается электропроводящей, если электрическое сопротивление между электродом в форме стельки, находящимся внутри обуви, и наружным электродом меньше 10^7 Ом.

Покрытие пола считается электропроводящим из бетона толщиной 3 см, спецбетона или пенобетона, ксилолита, настила из антистатической резины и т.д.

Особое внимание устранению электрического заряда с человека следует уделять при выполнении некоторых ручных операций (промывка, чистка, протирка, проклеивание, прорезинивание) с применением бензина, бензола, ацетона, резинового клея и т.п.

11.3 СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ ОПАСНОСТИ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Согласно действующим правилам [9], защита от разрядов статического электричества должна осуществляться во взрыво- и пожароопасных производствах с наличием зон классов В-I, В-Ia, В-II, В-IIa, П-I и П-II, в которых применяются и вырабатываются вещества с удельным объемным электрическим сопротивлением, превышающим 10^5 Ом·м. В остальных случаях защита осуществляется лишь тогда, когда статическое электричество представляет опасность для обслуживающего персонала, отрицательно влияет на технологический процесс или качество продукции. Основными способами устранения опасности от статического электричества (в соответствии со степенью эффективности и частотой применения) являются:

заземление оборудования, коммуникаций, аппаратов и сосудов, а также обеспечение постоянного электрического контакта с заземлением тела человека;

уменьшение удельного объемного и поверхностного электрического сопротивления путем повышения влажности воздуха или применения антистатических примесей;

ионизация воздуха или среды, в частности, внутри аппарата, сосуда и т.д.

Кроме этих способов прибегают к дополнительным, дающим в конкретных случаях нужный эффект при операциях с жидкими, газообразными и сыпучими материалами и веществами: предотвращение образования взрывоопасных концентраций, ограничение скорости движения жидкости, замена ЛВЖ на негорючие растворители и т.д.

Практический способ устранения опасности от статического электричества выбирается с учетом эффективности и экономической целесообразности.

Заземление

Заземление – наиболее часто применяемая мера защиты от статического электричества, его целью является устранение формирования электрических разрядов с проводящих элементов оборудования. Поэтому все проводящие части оборудования и электропроводные неметаллические предметы подлежат обязательному заземлению, независимо от того, применяются ли другие способы защиты от статического электричества. Заземлять следует не только те части оборудования, которые участвуют в генерировании, но и все другие, так как они могут зарядиться по законам электростатической индукции. Во многих случаях индуцированные заряды более опасны, чем заряды, которые являются причиной их образования.

В случаях, когда оборудование выполнено из проводящих электрический ток материалов, заземление является основным и почти всегда достаточным способом защиты. Особенно эффективно заземление токопроводящих частей оборудования при переработке веществ с удельным сопротивлением не более 10^8 Ом·м для жидкостей и 10^7 Ом·м для твердых тел. Если же на внешней поверхности или внутренних стенках металлических аппаратов, резервуаров и трубопроводов образуются отложения непроводящих веществ (смолы, пленки, осадки), заземление становится неэффективным и создается ложное впечатление о надежности и безопасности. Заземление не устраняет опасности и в случае применения аппаратов с эмалированными и другими неэлектропроводящими покрытиями.

Неметаллическое оборудование считается электростатически заземленным, если сопротивление растеканию тока на землю с любых точек его внешней и внутренней поверхности не превышает 10^7 Ом при относительной влажности воздуха не выше 60 %. Такое сопротивление

обеспечивает необходимое значение постоянной времени релаксации в пределах десятой доли секунды в невзрывоопасной и тысячные доли секунды во взрывоопасной среде. Постоянная времени релаксации τ связана с сопротивлением r заземления предмета или оборудования и его емкостью C соотношением $\tau = rC$.

Если емкость C мала, сопротивление растеканию тока может быть выше 10^7 Ом. С учетом этой величины рассчитываются максимально допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств.

Трубопроводы наружных установок (на эстакадах или в каналах), оборудование и трубопроводы, расположенные в цехах, должны представлять на всем протяжении непрерывную электрическую цепь и присоединяться к заземляющим устройствам. Считается, что электрическая проводимость фланцевых соединений трубопроводов и аппаратов, соединений крышек с корпусами аппаратов и т.п. достаточно высока (обычно не более 10 Ом) и не требуется установки специальных параллельных перемычек.

Каждая система аппаратов и трубопроводов в пределах цеха должна быть заземлена не менее чем в двух местах. Все резервуары и емкости вместимостью более 50 м^3 и диаметром более 2,5 м заземляют не менее чем в двух противоположных точках. На поверхности горючих жидкостей в резервуарах не должно быть плавающих предметов.

Наливные стояки эстакад для заполнения железнодорожных цистерн и рельсы железнодорожных путей в пределах сливноналивного фронта должны быть электрически соединены между собой и надежно заземлены. Автоцистерны, наливные суда, самолеты, находящиеся под наливом или сливом горючих жидкостей и сжиженных газов, должны также заземляться. Контактные устройства (без средств взрывозащиты) для присоединения заземляющих проводников должны быть установлены за пределами взрывоопасной зоны (не менее 5 м от места налива или слива [1]). При этом проводники вначале присоединяются к корпусу объекта заземления, а затем к заземляющему устройству. Применяемые для этих целей зажимы, розетки, магниты и другие примитивные устройства и приспособления не отвечают требованиям электростатической искробезопасности и не имеют соответствующих разрешительных документов (лицензии, свидетельство об электростатической

искробезопасности и взрывозащите, сертификаты качества и т.д.) на право их изготовления и применения во взрывоопасной зоне.

Кроме того, имеют место существенные конструктивные различия устройств для заземления автоцистерн (АЦ) на нефтебазах и автозаправочных комплексах (АЗК) от аналогичных на автозаправочных станциях (АЗС) общего пользования и ведомственных пунктов заправки топливом.

Подобные различия существуют и при оборудовании АЦ заземляющими проводниками, конструктивно непригодными для применения при наливке топлива на нефтебазе (или АЗК) или при сливе его на АЗС.

Таким образом, применяемые до сих пор для этих целей заземляющие устройства не обеспечивают требуемого уровня пожаровзрывобезопасности технологии налива или слива топлива и других ЛВЖ.

В целях устранения указанных недостатков и нарушений требований пожарной безопасности [35, 36, 37] в настоящее время разработаны и серийно выпускаются специальные устройства заземления автоцистерн (УЗА) типов УЗА-2МИ, УЗА-2МК и УЗА-2МК-03. УЗА соответствуют требованиям ГОСТов, являются взрывозащищенными с маркировкой соответственно 1ExsIIТ6 и 1Exsi_bIIСТ6 могут устанавливаться во взрывоопасных зонах класса В-Г [1]. УЗА имеют необходимые разрешительные документы на их изготовление и применение: разрешение и лицензию Госгортехнадзора, свидетельство о взрывозащищенности и электростатической искробезопасности.

Заземление не всегда решает проблему защиты от статического электричества. Так, заземление резервуара, заполняемого наэлектризованной жидкостью, лишь исключает накопление заряда (натекающего из объема жидкости) и на его стенках, но не ускоряет процесс рассеяния заряда в жидкости. Это объясняется тем, что скорость релаксации зарядов статического электричества в объеме диэлектрической жидкости нефтепродуктов определяется постоянной времени релаксации τ . Следовательно, в заполняемом наэлектризованными нефтепродуктами резервуаре в течение всего времени закачки жидкости и в течение времени, приблизительно равном 3τ , после ее окончания существует электрическое поле зарядов независимо от того, заземлен этот резервуар или нет. Именно

в этот промежуток времени может существовать опасность воспламенения паровоздушной смеси нефтепродуктов в резервуаре разрядами статического электричества.

Особую опасность, в свете указанного, представляет собой забор проб из резервуара сразу после его заполнения. Однако через промежуток времени, примерно равный 3τ , после окончания заполнения заземленного резервуара заряды статического электричества в нем практически полностью релаксируют, электрическое поле исчезает и проведение каких-либо манипуляций по забору проб жидкости становится безопасным. Поэтому в целях исключения разрядов при заполнении стационарных резервуаров или железнодорожных цистерн на пробоотборник при отборе проб через люк из резервуара или на наливную трубу в процессе ее извлечения из цистерны необходимо выдержать промежуток времени, равный [3]

$$T = 3K\tau, \quad (11.7)$$

где τ - постоянная времени релаксации нефтепродукта, с; K - коэффициент, учитывающий увеличение времени релаксации за счет поверхностного заряда нефтепродукта.

Для светлых нефтепродуктов, имеющих низкий уровень электропроводности (при $\rho_v > 10^{11}$ Ом·м), необходимое время выдержки T , обеспечивающее безопасность дальнейших операций, должно быть не менее 10 мин после успокоения жидкости. Заземление резервуара и выдержка необходимого времени после заполнения не дадут нужного эффекта безопасности в случаях, когда в резервуаре имеются плавающие на поверхности жидкости изолированные предметы, которые могут приобрести заряд статического электричества в ходе заполнения резервуара и сохранять его в течение времени, значительно превышающем 3τ . В этом случае приближение к плавающему предмету заземленного проводящего тела может сопровождаться опасным искрообразованием.

Уменьшение объемного и поверхностного удельных электрических сопротивлений

Снижением объемного и поверхностного сопротивлений обеспечивается соответствующая электропроводность и способность диэлектрика отводить заряды статического электричества. Устранение опасности статической электризации диэлектриков этим способом

является весьма эффективным и может быть достигнуто повышением влажности воздуха, химической обработкой поверхности, применением электропроводных покрытий и антистатических веществ (присадок).

Повышение относительной влажности воздуха. Большинство пожаров от искр статического электричества происходит обычно зимой, когда относительная влажность воздуха низка. При относительной влажности воздуха выше 65-70 %, как показывают исследования и практика, число вспышек и загораний становится незначительным.

Ускорение стекания электростатических зарядов с диэлектриков при высокой влажности воздуха связывают с тем, что на поверхности гидрофильных диэлектриков адсорбируется тонкая пленка влаги, содержащая обычно большое количество ионов из загрязнений и растворенного вещества, за счет которых обеспечивается достаточная поверхностная электропроводность электролитического характера. Электропроводность адсорбированной пленки влаги при прочих равных условиях определяется ее толщиной и в связи с этим в значительной степени зависит от относительной влажности воздуха. Чем она выше, тем толще пленка. Водные пленки толщиной 10^{-5} см визуалью нельзя обнаружить, однако они увеличивают поверхностную электропроводность диэлектрика и способствуют утечке зарядов. Поэтому поверхностное сопротивление диэлектрика уменьшается. Однако если материал находится при более высокой температуре, чем та, при которой пленка может удерживаться на поверхности, указанная поверхность не может стать проводящей даже при очень высокой влажности воздуха. Эффект также не будет достигнут, если заряженная поверхность диэлектрика гидрофобна (сера, парафин, масла и другие углеводороды) или скорость ее перемещения больше, чем скорость образования поверхностной пленки. Таким образом, способ увлажнения воздуха не всегда эффективен.

Увеличение влажности воздуха достигается распылением водяного пара или воды, циркуляцией влажного воздуха, а иногда свободным испарением с поверхности воды.

В некоторых случаях желаемый эффект достигается местным увлажнением паров или охлаждением электризующейся поверхности до температуры на 10°C ниже температуры окружающей среды.

Химическая обработка поверхности, электропроводные покрытия. Снижение удельного поверхностного сопротивления полимерных

материалов может быть достигнуто химической обработкой поверхности кислотами (например, серной или хлорсульфоновой). В результате этого поверхности полимера (полистирол, полиэтиленовые и полиэфирные пленки) окисляются или сульфуруются. При этом удельное поверхностное сопротивление снижается до 10^6 Ом при относительной влажности воздуха 75 %.

Положительный эффект достигается и при обработке изделий из полистирола и полиолефинов погружением образцов в петролейный эфир при одновременном воздействии ультразвуком. Методы химической обработки эффективны, но требуют точного соблюдения технологических условий.

Иногда необходимый эффект достигается нанесением на диэлектрик поверхностной хорошо проводящей пленки. Например, металлические тонкие пленки получают распылением, разбрызгиванием или испарением в вакууме или наклеиванием металлической фольги. Пленки на углеродной основе получают распылением углерода в жидкой среде или порошка (частицы меньше 1 мкм).

Применение антистатических веществ. Большинство горючих и легковоспламеняющихся жидкостей характеризуется высоким удельным электрическим сопротивлением. Поэтому при некоторых операциях, например с нефтепродуктами, происходит накопление зарядов статического электричества, которое не только препятствует интенсификации технологических операций, но и служит источником многочисленных взрывов и пожаров на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях.

Движение жидких углеводородов относительно твердого, жидкого или газообразного тела может привести к разделению электрических зарядов на поверхности соприкосновения. При движении жидкости по трубе слой находящийся на поверхности жидкости зарядов уносится ее потоком, а заряды противоположного знака остаются в трубе и, если металлическая труба заземлена, стекают в землю. Если металлический трубопровод изолирован или изготовлен из диэлектрических материалов, он приобретает положительный заряд, а жидкость – отрицательный.

Степень электризации нефтепродуктов зависит от состава и концентрации содержащихся в них активных примесей, физико-химического состава нефтепродуктов, состояния внутренней поверхности

трубопровода (коррозии и т.д.) или технологического аппарата, диэлектрических свойств, вязкости и плотности жидкости, а также от скорости движения жидкости, диаметра и длины трубопровода. Так, присутствие 0,001 % механических примесей превращает инертное углеводородное топливо в электризуемое до опасных пределов.

Один из наиболее эффективных методов, позволяющих устранить электризацию нефтепродуктов, - введение специальных антистатических веществ. Добавление присадок в тысячных и десятитысячных долях процента позволяет на несколько порядков уменьшить удельное сопротивление нефтепродуктов и обезопасить операции с ними. Электрическую проводимость углеводородов и нефтепродуктов наиболее эффективно повышают олеаты и нафтенаты хрома и кобальта, соли хрома синтетических жирных кислот, присадка «Сигбаль» и другие вещества. Так, присадка на основе олеиновой кислоты олеат хрома повышает электропроводность бензина Б-70 в $1,2 \cdot 10^4$ раза. Широкое применение в операциях по промывке деталей нашли присадки «Аккор-1» (10-15 г присадки на 100 л жидкости) и АСП-1.

Для получения «безопасной» электропроводности нефтепродуктов в любых условиях необходимо вводить 0,001-0,005 % присадок. Они обычно не влияют на физико-химические свойства нефтепродуктов.

Для получения проводящих растворов полимеров (клеев) также применяют антистатические присадки, растворимые в них, например соли металлов переменной валентности высших карбоновых и синтетических кислот.

Положительные результаты достигаются при использовании антистатических веществ на предприятиях по переработке синтетических волокон. Наиболее важным свойством антистатических веществ является способность увеличивать ионную проводимость и тем самым снижать электрическое сопротивление волокнистых материалов. Обработку волокнистых материалов антистатическими веществами производят до процесса либо непосредственно в процессе их изготовления.

Есть несколько главных групп химических препаратов, применяемых для приготовления антистатических материалов, которые влияют на электрические свойства волокон: углеводороды парафинового ряда, жиры, масла, гигроскопические вещества, поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Углеводороды парафинового ряда, жиры и масла влияют на электрический контакт между волокнами и частями машин, способствуя образованию проводящих масляных пленок между ними. Гигроскопические вещества образуют на поверхности волокон пленку влаги, снижая таким образом трение. При наличии влаги и веществ, обладающих свойствами электролитов, образуются ионы. Поверхностно-активные вещества при добавлении в воду снижают ее поверхностное натяжение, в результате улучшается смачивание, пенообразующие, моющие и другие важные для текстильной промышленности свойства воды.

Эффективность антистатических веществ используют в промышленности полимеров, например при обработке полистирола и полиметилметакрилата. Обработка полимеров антистатическими добавками производится как поверхностным нанесением, так и введением в расплавленную массу. В качестве антистатических добавок применяют, например, некоторые образцы ионогенных поверхностно-активных веществ. При поверхностном нанесении ПАВ обладают хорошим антистатическим эффектом. Удельное поверхностное сопротивление полимеров при этом снижается на 5-8 порядков, но срок эффективного действия незначителен (до одного месяца). Введение антистатических добавок внутрь более перспективно, так как антистатические свойства полимеров стабильны во времени (несколько лет), менее подвержены действию растворителей, истиранию и т.д. Для каждого диэлектрика оптимальные концентрации ПАВ различны: например, для полиэтилена низкого давления 0,05-0,1 %, полиэтилена высокого давления 0,2-0,3 %, полипропилена 0,5 %, поливинилхлорида твердого 0,5-1,5 %, полиакрила 2-3 %, полистирола 1,5-2,5 %.

Широкое применение труб для пневмотранспорта, продуктопроводов и других устройств из полимеров (например, полиэтилена низкой и высокой плотности) привело к созданию полупроводящих полимерных композиций путем введения наполнителей (ацетиленовой сажи, алюминиевой пудры, графита, цинковой пыли).

Лучший наполнитель – ацетиленовая сажа, хорошо распределяемая в полимере и снижающая сопротивление на 10-11 порядков даже при 20 % от массы полимера. Оптимальная массовая концентрация ацетиленовой сажи для создания электропроводящего полимера составляет 25 %. Для

пневмотранспорта могут быть рекомендованы неметаллические трубы из проводящей полиэтиленовой композиции.

В народном хозяйстве широко используются резинотехнические изделия, обычно диэлектрические. Это связано с опасностью статической электризации. Чтобы получить электропроводные или антистатические резины, в них вводят электропроводящие наполнители – порошок графит, различные сажи (например, липецкую, ацетиленовую), мелкодисперсные металлы. В таких резинах образуется токопроводящая структура. Так, при введении в латекс сажи электропроводность резины (вследствие лучшего распределения наполнителя) оказалась на 2-3 порядка выше электропроводности резины, полученной на основе твердого каучука. Удельное сопротивление антистатической резины достигает 10^6 Ом·м, проводящей до $5 \cdot 10^2$ Ом·м.

Антистатическими резинами марки КР-388, КР-245 пользуются во взрывоопасных производствах, покрывают полы, рабочие столы, детали оборудования и колеса внутрицехового транспорта. Такое покрытие лучше металлического или бетонного, оно более гигиенично, быстрее отводит возникающие заряды, снижает электризацию людей до безопасного уровня.

В последнее время разработана рецептура маслобензостойкой электропроводящей резины с использованием бутадииеннитрильных и полихлоропреновых каучуков. Наиболее широко эти резиновые смеси используются при изготовлении напорных рукавов и шлангов для перекачки ЛВЖ. Такие рукава значительно снижают опасность воспламенения при сливе и наливке ЛВЖ в авто- и железнодорожные цистерны и другие емкости, исключают применение специальных устройств для заземления заправочных воронок и наконечников.

До последнего времени электропроводящие слои создавали вакуумным напылением или катодным нанесением металла на поверхность диэлектрика. Но этот способ не всегда приемлем. Были эффективны специальные лакокрасочные покрытия, основанные на образовании в полимерном связующем цепочных структур наполнителя. Эти структуры, образованные контактирующими частицами проводящего наполнителя, обеспечивают покрытие хорошую электропроводность. Наполнителями служат порошкообразные металлы, сажа, графит. Так, 15 % карбонильного никеля в полимере снижает удельное сопротивление до 10^4 Ом·м и менее, а 35-40% такого никеля приближает проводимость ряда полимеров к металлической.

Для «чистых» полимерных связующих без наполнителя удельное сопротивление $\rho = 10^9 - 10^{13}$ Ом·м.

В настоящее время созданы электропроводящие эмали марки ХС-928 и АК-562. Их наносят на поверхность в два слоя кистью или пульверизатором, и они дают пленку черного цвета, устойчивую к температуре, давлению, вакууму, агрессивным средам и радиационному облучению. Электропроводными эмалями окрашивают заземляемые устройства технологического оборудования: внутренние части химической реакционной аппаратуры, изготовленной из стекла и пластмассы, внутренние части диэлектрического трубопровода, по которому транспортируются жидкости или сыпучие материалы, способные электризоваться, и т.д.

Если во взрывоопасных производствах работают ременные передачи и ленточные транспортеры, изготовленные из материалов с $\rho_r > 10^5$ Ом·м, заряды статического электричества и потенциал ремней и лент достигает нескольких десятков киловольт. Эффективное снижение потенциала получается при увеличении поверхностной проводимости ремня и обязательном заземлении установки. Внутреннюю поверхность ремня покрывают антистатической смазкой, возобновляемой не реже одного раза в неделю. Для кожаных и резиновых ремней рекомендуется, например, такая смазка: 100 вес. ч. глицерина и 40 вес. ч. сажи. Иногда хорошее снижение потенциала дают увеличение относительной влажности воздуха в месте нахождения ременной передачи до 70 % и более и снижение линейной скорости движения ремня и лент.

Ионизация воздуха

Сущность этого способа заключается в нейтрализации или компенсации поверхностных электрических зарядов ионами разного знака, которые создают специальные приборы, называемые нейтрализаторами. Ионизация воздуха осуществляется двумя способами: электрическим полем с высокой напряженностью E и радиоактивным излучением.

Принцип работы нейтрализаторов состоит в том, что они создают вблизи наэлектризованного диэлектрика положительные и отрицательные ионы. Ионы, имеющие полярность, противоположную полярности зарядов наэлектризованного материала, под действием электрического поля оседают на поверхности диэлектрика, нейтрализуя его.

Ионизация воздуха электрическим полем с высокой напряженностью получается от нейтрализаторов двух типов: индукционных и высоковольтных.

Индукционные нейтрализаторы очень просты и давно применяются. Существуют индукционные нейтрализаторы с остриями и проволочные. В нейтрализаторе с остриями в деревянном или металлическом стержне укреплены заземленные острия, тонкие проволочки или фольга. У проволочного нейтрализатора вместо острия применена тонкая стальная проволочка, натянутая поперек движущегося заряженного материала.

Действие индукционных нейтрализаторов основано на использовании электрического поля наэлектризованного тела, и постороннего источника напряжения для них не требуется. Под действием сильного электрического поля вблизи разрядного электрода происходит ударная ионизация, в результате которой образуются ионы обоих знаков. Для увеличения эффективности действия нейтрализаторов следует стремиться к сокращению расстояния между кончиками игл и нейтрализуемой поверхностью до 5-20 мм. Нейтрализаторы монтируются непосредственно перед местом, где заряды создают технологические помехи, или вблизи от места генерации зарядов. Они обладают высокой ионизационной способностью, особенно при высоких потенциалах заряженного тела. Проволочные нейтрализаторы менее эффективны. Основным их недостатком является то, что они действуют, если потенциал наэлектризованного тела достигает нескольких киловольт. Основные преимущества индукционных нейтрализаторов заключаются в простоте конструкции, низкой стоимости, минимальных эксплуатационных затратах и отсутствии источников питания.

Высоковольтные нейтрализаторы работают на переменном, постоянном и токе высокой частоты. Они состоят из трансформатора с высоким выходным напряжением и игольчатого разрядника (рис.11.2). В нейтрализатор на постоянном токе входит и высоковольтный выпрямитель. Принцип действия всех трех типов нейтрализаторов, основанный на ионизации воздуха высоким напряжением, одинаков, но эффективность различна. Максимальное расстояние между разрядным электродом и нейтрализуемым материалом, при котором нейтрализатор еще эффективен, может достигать 600 мм. Обычно рабочее расстояние принимается равным 200-300 мм. Достоинство всех трех типов

нейтрализаторов – достаточное ионизирующее действие и при низком потенциале тела. Особенно полезны нейтрализаторы там, где не соблюдаются температурно-влажностные условия и относительная влажность воздуха может быть ниже 50 %. Недостатком высоковольтных нейтрализаторов является большая энергия возникающих искр, способных воспламенить любые взрывоопасные смеси. Поэтому нейтрализаторы для взрывоопасных зон должны иметь только взрывозащищенное исполнение.

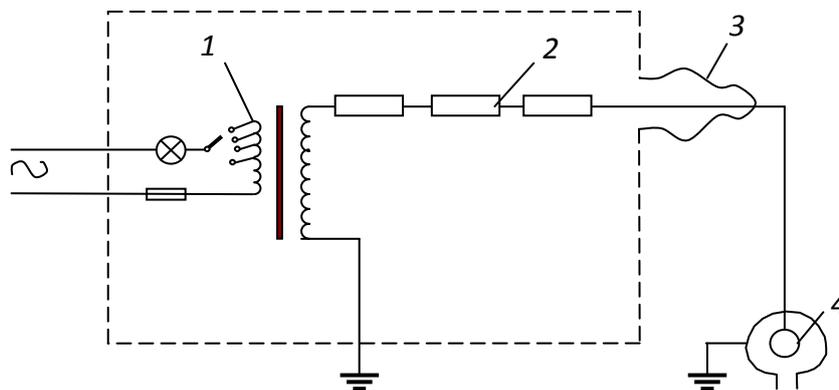


Рис. 11.2. Высоковольтный нейтрализатор переменного тока:

1 – трансформатор; 2 – защитное сопротивление; 3 – проходной изолятор; 4 – игольчатый разрядник

При использовании высоковольтных нейтрализаторов должна быть предусмотрена надежная защита обслуживающего персонала от высокого напряжения. В этих целях в высоковольтную цепь нейтрализатора включаются защитные сопротивления (см. рис. 9.4), которые ограничивают ток до величины в 50-100 раз меньше тока, опасного для жизни.

Радиоизотопные нейтрализаторы очень просты по устройству, не требуют источника питания, достаточно эффективны и безопасны при использовании в пожаровзрывоопасных средах. Они широко применяются в химической, резинотехнической, текстильной, бумажной, полиграфической и других отраслях промышленности. При использовании радиоизотопных нейтрализаторов необходимо предусматривать надежную защиту людей, оборудования и выпускаемой продукции от вредного воздействия радиоактивного излучения.

Радиоизотопные нейтрализаторы чаще всего имеют вид длинных плоских пластинок или маленьких дисков. Одна сторона их содержит радиоактивное вещество, создающее радиоактивное излучение, ионизирующее воздух. Чтобы не загрязнять воздух, продукцию и

оборудование, радиоактивное вещество покрывают тонким защитным слоем из специальной эмали или фольги. Для защиты от механических повреждений ионизатор помещают в металлический кожух, который создает нужное направление ионизированного воздуха.

Радиоактивные вещества выбираются с учетом типа энергии, частиц излучения, длины их пробега, действия излучения на людей и т.д. В табл. 11.2 приведены данные о проникающей способности всех трех видов излучений.

Таблица 11.2

Проникающая способность излучений

Излучение	Число пар ионов, создаваемых в 1 мм ³ воздуха	Проникающая способность частиц в воздухе, м
α-частицы или ядра гелия (радий-226, полоний-208, плутоний-238, 239 и 240)	600	0,1
β-частицы или электроны (гелий-204, стронций-90, криптон-85 и др.)	6	10
γ-лучи	0,1	600

Наиболее эффективны и безопасны радиоактивные вещества с α-частицами. Проникающая способность α-частиц в воздухе составляет до 10 см. В более плотных средах проникающая способность α-частиц еще меньше. Лист обычной писчей бумаги полностью ее поглощает.

Нейтрализаторы с таким излучением пригодны для локальной ионизации воздуха и нейтрализации зарядов в месте их образования. Там, где необходимо нейтрализовать электрические заряды в аппарате с большим объемом, лучше использовать β-излучатели. Среди β-излучателей широко распространены тритиевые источники. Подножки у них изготавливают из молибдена, нержавеющей стали или меди; на подножки наносят слой титана, насыщаемый тритием. Как видно из табл. 11.2, ионизирующая способность β-частиц в 100 раз меньше, чем у α-частиц. Однако они обладают большой проникающей способностью. Длина пробега β-частиц в воздухе исчисляется метрами, но в более плотных средах она поглощается сравнительно легко. Свинцовые защитные экраны толщиной 1,5 мм, стальные толщиной 3 мм или деревянные толщиной 20 мм полностью поглощают β-лучи. Радиоактивные вещества с γ-излучением из-за высокой проникающей

способности и опасности для людей при нейтрализации электрических зарядов не применяются.

Основным недостатком радиоизотопных нейтрализаторов является малый ионизационный ток по сравнению с другими типами нейтрализаторов.

Для нейтрализации электрических зарядов могут использоваться комбинированные нейтрализаторы, например, сочетание высоковольтного и радиоизотопного, и индукционного. Подобные комбинации из двух типов нейтрализаторов позволяют улучшить их рабочие характеристики и увеличить эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Правила устройства электроустановок (ПУЭ).-М.: Энергоатомиздат, 2010. – 780с.

Черкасов, В.Н. Пожарная безопасность электроустановок / В.Н. Черкасов, Н.П. Костарев: Учебник. – М.:Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.

Собурь, С.В. Пожарная безопасность электроустановок: Справочник. – 5-е изд. – М.: Пожкнига, 2012. – 280с.

Малов, В.В. Пожарная безопасность электроустановок / В.В. Малов, В.Д. Барановский: Уч.пособие – Иркутск: ВСИ МВД России, 2005 – 68 с.

ГОСТ Р53315-2009. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. – М.: Росстандарт, 2011.

ГОСТ 14209-85 Трансформаторы силовые общего назначения. Допустимые нагрузки. – М.: Стандартиформ, 2000.

Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87-М.:Энергоатомиздат, 1989.

Черкасов, В.Н. Защита пожаро- и взрывоопасных зданий и сооружений от молнии и статического электричества. – М.:Стройиздат, 1993.–252с.

Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.-М.:Химия, 1973.

НПБ 105-03. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.-М.:ГУГПС МВД России, 2003.

ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 1995.

Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИБРЭ).-М.:Энергия, 1969.

Правила изготовления взрывозащищенного электрооборудования (ПИБЭ).-М.-Л.:Энергия, 1963.

ГОСТ 12.1.011-78. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний.

Правила эксплуатации электроустановок потребителей.- М.:Энергоатомиздат, 2011. – 420с

Правила сертификации электрооборудования для взрывоопасных сред. – М.: Стандартинформ, 2003

РД-03-67-94. Инструкция о порядке выдачи разрешений на выпуск и применение горно-шахтного оборудования, взрывозащищенных и в рудничном исполнении электротехнических изделий Федеральным горным и промышленным надзором России.

ОСТ 16 0.800.699-79 ОСТ 16 0.800.704-79. Оборудование электротехническое взрывозащищенное. Выбор и применение зарубежного электрооборудования для взрывоопасных установок. – М.: Минэлектропром СССР, 1981.

ГОСТ Р 51330.0-99 Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2000.

ГОСТ Р 51330.10-99 Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь *i*. – М.: Стандартинформ, 2001.

ГОСТ 14254-96. Электрооборудование напряжением до 1000 В. Оболочки. Степени защиты. – М.: Стандартинформ, 1997.

ГОСТ Р 51330.6-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 5. Кварцевое заполнение оболочки *q* – М.: Стандартинформ, 2000

ГОСТ 22782.0-81. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 1995

ГОСТ Р 51330.7-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 6. Масляное заполнение оболочки "о". – М.: Стандартинформ, 2001

ГОСТ Р 52350.18-2006. Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 18. Конструкция, испытания и маркировка электрооборудования с взрывозащитой вида "герметизация компаундом "m". – М.: Стандартинформ, 2007

ГОСТ Р 52350.2-2006. Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 2. Оболочки под избыточным давлением «р». – М.: Стандартинформ, 2006

ГОСТ Р 51330.1-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 1 взрывозащита вида «Взрывонепроницаемая оболочка». – М.: Стандартинформ, 2000

ГОСТ Р 51330.8-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 7. Защита вида «е». – М.: Стандартинформ, 2000

Черкасов, В.Н. Методические указания к решению задач по выбору электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных производств / В.Н Черкасов, В.А. Кузнецов: – М.:ВИПТШ МВД СССР, 1988. – 60с.

СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства. ВНИИ проектэлектромонтаж. – М.: Стандартиформ, 1995

Инструкция по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон. ВСН 332-74/ММСС СССР.- М.:Энергия, 1976.

НПБ 05-93. Порядок участия органов государственного пожарного надзора Российской Федерации в работе комиссий по приемке в эксплуатацию законченных строительством объектов.-М.:ГУ ГПС МВД России.

Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.-М.:Госэнергоиздат, 1994.

РД 16.407-95. Электрооборудование взрывозащищенное. Ремонт.

Инструкция по монтажу электрооборудования пожароопасных установок напряжением до 1000 В. ВСН-294-72/ММСС СССР.- М.:Энергия, 1974.

Базелян, Э.М. Физические и инженерные основы молниезащиты. / Э.М. Базелян, Б.Н. Горин, В.И. Литвинов: Учебник. – Л.:Гидрометеиздат, 1978. – 223с

Максимов, Б.К. Электрическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами / Б.К. Максимов и [др]: Учебник. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 150 с.

Рекомендации по режимам налива светлыми нефтепродуктами стационарных резервуаров и железнодорожных цистерн на нефтеперерабатывающих заводах.-М.:ХОЗУ Миннефтехимпрома СССР, 1988.

Максимов, Б.К., Статическое электричество в промышленности и защита от него./ Б.К. Максимов, А.А.Обух: Уч. Пособие. – М.:Энергия, 1978. – 80с

НПБ 111-98*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности.-М.:ГУГПС МВД России, 1998.

Изменения и дополнения, внесенные в правила пожарной безопасности Российской Федерации (ППБ 01-93).-М.:ГУГПС, ВНИИПО МВД России, 1998.

ППБ 01-93. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.-М.:ГУГПС МВД России, 1993.

ГОСТ Р 50913-96. Автомобильные транспортные средства для транспортирования и заправки нефтепродуктов. – М.: Стандартинформ, 1997

ГОСТ Р 52274-2004. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2005

СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2002

ГОСТ Р 50571.3-94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – М.: Стандартинформ, 1997

ГОСТ Р 50669-94. Электроснабжение и электробезопасность мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом для уличной торговли или бытового обслуживания. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 1995

ГОСТ 12.1.018-93. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования – М.: Стандартинформ, 1994

НПБ 243-97. Устройства защитного отключения. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 1998

Смелков, Г.И. Пожарная безопасность светотехнических изделий / Г.И. Смелков, В.А.Пехотиков: Уч. Пособие. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 160с.

ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 1995

ГОСТ Р 51324.1-2005. Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2007

Фокин, Ю.А. Оценка надежности систем электроснабжения / Ю.А. Фокин, В.А. Туфанов: Учебник. – М.:Энергоиздат, 1981. – 224с

ГОСТ Р 51330.9-99 (МЭК 60079-10-95). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон. – М.: Стандартинформ, 2000

Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и [др]: Справочник изд.: в 2-х книгах. _М.: Химия, 1990.- 496 с.

Черкасов, В.Н. Пожарная профилактика электроустановок. / В.Н. Черкасов, Ф.И. Шаровар: Учебник. 3-е изд., перераб.и доп.-М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987.-319 с.

Черкасов, В.Н. Пожарно-техническая экспертиза электротехнической части проекта. -М.: Стройиздат, 1987.-104 с.

Электротехнический справочник. В 4 т. Т.3: В 2 кн. Кн.2. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ: В.Г. Герасимова (гл. ред.) и др. – 9-е изд., испр. и доп.–М.: Энергоатомиздат, 2003.-967 с.

СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стандартиформ, 1997