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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ФЕДЕРАЛЬНОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ
СЛУЖБЫ ПО НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ»

И.М. Ламков

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Учебно-методическое пособие

Новосибирск
2014

Р е ц е н з е н т ы:

Ламков И.М.

Основы электротехники: учебно-методическое пособие. – Н.: ФГБОУ ДПО Учебный центр ФПС по Новосибирской области, 2014. -192 с.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Охрана труда. Электротехника и электробезопасность» для обучения работников, принятых на должность по профессии «Пожарный».

Предназначено для формирования знаний у слушателей о природе возникновения электрического тока, получении и распределении электрической энергии, электрических машинах, а также безопасной эксплуатации электротехнических устройств и особенностях тушения пожаров в электроустановках.

В настоящем пособии рассматривается физическая сущность происхождения электрического тока, этапы развития электротехники как науки, наиболее распространенные типы электрических машин, электрической аппаратуры и материалов, вопросы получения и передачи электрической энергии, организация безопасной эксплуатации электроустановок и порядок тушения пожара.

© Ламков И.М., 2014
© ФГБОУ ДПО Учебный центр ФПС
по Новосибирской области, 2014

Содержание

ВВЕДЕНИЕ……6
1. Этапы развития электротехники……7
2. Основные термины и определения……12
3. Основные сведения о строении вещества и физической природе электричества……14
3.1. Физическая природа электричества……16
3.2. Электрические заряды……17
3.3. Физическая природа электрического поля и его графическое изображение. ……18
3.4. Напряженность электрического поля……19
3.5. Электрический потенциал……21
3.6. Электрическое напряжение……21
3.7. Электрический ток и электропроводность вещества……22
3.7.1. Электрический ток……22
3.7.2. Электропроводность……24
3.7.3. Физическая природа электропроводности металлов……25
3.7.4. Скорость прохождения тока……26
3.8. Электрическое сопротивление и проводимость……27
3.8.1. Физическая природа электрического сопротивления……27
3.8.2. Проводимость……28
3.8.3. Удельное электрическое сопротивление и проводимость……28
3.9. Электрическая цепь и ее элементы……30
3.9.1. Составные элементы электрической цепи……30
3.9.2. Изображение электрических цепей и их элементов……31
3.9.3. Направления тока, напряжения и электродвижущей силы в электрической цепи……32
3.9.4. Закон Ома……33
4. Материалы, применяемые в электротехнике……35
4.1. Свойства проводниковых материалов……35
4.2. Характеристики проводниковых материалов……36
4.3. Токопроводящие цветные металлы……38
4.4. Электрические свойства электроизоляционных материалов……40
4.5. Характеристики газообразных и жидких электроизоляционных материалов ……41
4.6. Характеристики твердых электроизоляционных материалов……43
4.7. Свойства магнитных материалов……45
4.8. Характеристики магнитных материалов……47
4.9. Вспомогательные электротехнические материалы и конструкционные изделия ……50
5. Электрические машины……53

5.1. Классификация электрических машин по роду тока и принципу действия……..55
5.2. Классификация электрических машин по мощности……57
5.3. Классификация электрических машин по частоте вращения……58
5.4. Электрическая аппаратура……58
6. Производство и распределение электрической энергии……..62
6.1. Электрические станции……..62
6.2. Электрические сети……64
6.3. Потребители электрической энергии……..67
6.4. Потребители электрической энергии по надёжности электроснабжения……70
7. Заземление электроустановок…….. 73
7.1. Требования к заземляющим устройствам……74
7.2. Заземлители и заземляющие проводники……78
7.3. Установки с изолированной и глухозаземлённой нейтралью……..81
8. Требования охраны труда и пожарной безопасности при эксплуатации электроустановок……...84
8.1. Охрана труда при производстве работ в действующих электроустановках……88
8.2. Организационные мероприятия по обеспечению безопасного проведения работ в электроустановках……92
8.3. Охрана труда при выполнении технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ со снятием напряжения……95
8.4. Охрана труда при выполнении отключений в электроустановках……..96
8.5. Вывешивание запрещающих плакатов…… ..99
8.6. Охрана труда при проверке отсутствия напряжения…… 100
8.7. Охрана труда при установке заземлений……101
8.8. Охрана труда при установке заземлений в распределительных устройствах……102
8.9. Охрана труда при установке заземлений на воздушных линиях электропередачи……104
8.10. Основные требования охраны труда и пожарной безопасности при эксплуатации электроустановок……107
8.11. Электроизоляционные и конструкционные материалы……109
8.12. Комплектующие элементы электроустановок……111
8.13. Организация пожарной безопасности электроустановок……112
9. Тушение пожаров в электроустановках……115
9.1. Особенности развития пожаров на объектах электроэнергетики……116
9.2. Пожарная опасность электроустановок……121
9.3. Пожарная опасность электрических аппаратов управления и защиты……126
9.4. Пожарная опасность электрических ламп накаливания общего назначения……129

9.5. Пожарная опасность люминесцентных светильников.....130
9.6. Возникновение токов утечки в электроустановках.....132
9.7. Особенности тушения пожаров в электроустановках.....133
9.8. Тушение пожаров в электроустановках с соблюдением мер защиты от поражения электрического тока.....140
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....146

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивный рост потребления электроэнергии во всех отраслях народного хозяйства требует постоянного внимания к повышению пожарной безопасности электроустановок. Анализ противопожарного состояния объектов различного назначения показывает, что их пожарная безопасность во многом зависит от технического состояния электрооборудования и электроустановок в целом. Недооценка этого факта нередко приводит к возникновению пожаров (в том числе и крупных) со значительным материальным ущербом. По статистическим данным пожары от электроустановок в целом по стране составляют примерно 28 % общего количества. В отдельных случаях пожары сопровождаются гибелью или травматизмом людей. Ущерб от пожаров, возникающих на электростанциях, энергетических установках промышленных и сельскохозяйственных предприятий, как правило, значителен. Так, на одной из тепловых электростанций произошел пожар и были повреждены лишь кабельные коммуникации. Прямой ущерб составил несколько десятков тысяч рублей. Однако из-за нарушения энергоснабжения ряда предприятий, простоя оборудования и сокращения выпуска продукции убытки превысили несколько сотен тысяч рублей.

Во избежание несчастных случаев при тушении пожаров личным составом подразделений ГПС, осведомленность в области электротехники и электробезопасности также является необходимой.

1. Этапы развития электротехники

Решающая роль в современном научно-техническом прогрессе принадлежит электрификации. Как известно, под электрификацией понимается широкое внедрение электрической энергии в народное хозяйство и быт, и сегодня нет такой области техники, где в том или ином виде не использовалась бы электрическая энергия.

Под электротехникой в широком смысле слова подразумевается область науки и техники, использующая электрические и магнитные явления для практических целей. Это общее определение электротехники можно раскрыть более подробно, выделив те основные области, в которых используют электрические и магнитные явления: преобразование энергии природы (энергетическая); превращение вещества природы (технологическая); получение и передача сигналов или информации (информационная). Поэтому более полно электротехнику можно определить, как область науки и техники, использующую электрические и магнитные явления для осуществления процессов преобразования энергии и превращения вещества, а также для передачи сигналов и информации.

В последние десятилетия из электротехники выделилась промышленная электроника с тремя ее направлениями: информационное, энергетическое и технологическое, которые с каждым годом приобретают все большее значение в ускорении научно-технического прогресса.

В развитии электротехники условно можно выделить следующие шесть этапов:

1. Становление электростатики (до 1800 г.).

К этому периоду относятся первые наблюдения электрических и магнитных явлений, создание первых электростатических машин и приборов,

исследования атмосферного электричества, разработка первых теорий и законов электричества (законы Кулона), зарождение электромедицины.

2. Закладка фундамента электротехники, ее научных основ (1800 — 1830 гг.)

Начало этого периода ознаменовано созданием «вольтова столба» — первого электрохимического генератора, а вслед за ним «огромной наипаче батареи» В. В. Петрова, с помощью которой им была получена электрическая дуга и сделано много новых открытий. Важнейшими достижениями этого периода является открытие основных свойств электрического тока, законов Ампера, Био - Савара, Ома, создание прообраза электродвигателя, первого индикатора электрического тока (мультипликатора), установление связей между электрическими и магнитными явлениями.

3. Зарождение электротехники (1830—1870 гг.)

Самым знаменательным событием этого периода явилось открытие М. Фарадеем явления электромагнитной индукции, создание первого электромеханического генератора. Разрабатываются разнообразные конструкции электрических машин и приборов, формулируются законы Ленца и Кирхгофа, создаются первые источники электрического освещения, первые электроавтоматические приборы, зарождается электроизмерительная техника. Однако широкое практическое применение электрической энергии было невозможно из-за отсутствия экономичного электрического генератора.

4. Становление электротехники как самостоятельной отрасти техники (1870—1890 гг.)

Создание первого промышленного генератора с самовозбуждением (динамо-машины) открывает новый этап в развитии электротехники, которая становится самостоятельной отраслью техники.

В связи с развитием промышленности, ростом городов возникает острая потребность в электрическом освещении, начинается строительство «домовых» электрических станций, вырабатывающих постоянный ток. Электрическая энергия становится товаром, и все более остро ощущается необходимость

централизованного производства и экономичной передачи электроэнергии на значительные расстояния. Решить эту проблему на базе постоянного тока было нельзя из-за невозможности трансформации постоянного тока.

Значительным стимулом к, внедрению переменного тока явилось изобретение «электрической свечи» П. Н. Яблочковым и разработка им схемы дробления электрической энергии посредством индукционных катушек, представлявших собой трансформаторе разомкнутой магнитной системой. Однако однофазные двигатели были непригодны для целей промышленного электропривода.

Одновременно разрабатываются способы передачи электрической энергии на большие расстояния посредством значительного повышения напряжения линий электропередач.

Дальнейшее развитие идеи электрического освещения способствовало совершенствованию электрических машин и трансформаторов; в середине 80-х гг. началось серийное производство однофазных трансформаторов с замкнутой магнитной системой (М. Дери, О. Блати, К. Циперновский).

Идея П. Н. Яблочкова о централизованном производстве и распределении электроэнергии претворяется в жизнь, начинается строительство центральных электростанций переменного тока. Однако развивающееся производство требовало комплексного решения сложнейшей научно-технической проблемы: экономичной передачи электроэнергии на дальние расстояния и создания надежного электрического двигателя, удовлетворяющего требованиям промышленного электропривода. Эта проблема была успешно решена на основе многофазных, в частности трехфазных систем.

5. Становление и развитие электрификации (с 1891 г.)

Важнейшей предпосылкой разработки трехфазных систем явилось открытие (1888 г.) явления вращающегося магнитного поля. Первые многофазные двигатели были двухфазными.

Трехфазная система оказалась наиболее рациональной, так как имела ряд преимуществ как перед однофазными цепями, так и перед другими многофазными системами. В разработку трехфазных систем большой вклад сделали ученые и инженеры разных стран. Но как будет показано далее, наибольшая заслуга принадлежит М. О. Доливо-Добровольскому, сумевшему придать своим работам практический характер, создавшему трехфазные синхронные генераторы и асинхронные двигатели, трансформаторы.

Процесс электрификации постепенно охватывает все новые области производства: развивается электрометаллургия, электротермия, электрохимия. Электрическая энергия начинает все более широко использоваться в самых разнообразных отраслях промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и в быту.

Широкое применение переменного тока потребовало теоретического осмысления и математического описания физических процессов, происходящих в электрических машинах, линиях электропередач, трансформаторах. Расширяются исследования явлений в цепях переменного тока с помощью векторных и круговых диаграмм.

Огромную прогрессивную роль в анализе процессов в электрических цепях сыграл комплексный метод, предложенный в 1893—1897 гг. Ч. П. Штейнмецом.

С развитием крупных энергосистем и увеличением дальности электропередач возникла серьезная научно-техническая проблема обеспечения устойчивости параллельной работы генераторов электростанции, которая была решена отечественными и зарубежными учеными. Теоретические основы электротехники становятся базой учебных дисциплин в вузах и фундаментом научных исследований в области электротехники.

6. Зарождение и развитие электроники (первая четверть XX в.)

Рост потребности в постоянном токе (электрохимия, электротранспорт и др.) вызвал необходимость в развитии преобразовательной техники, что привело к зарождению, а затем бурному развитию промышленной электроники. Электротехника становится базой для разработки автоматизированных систем управления энергетическими и производственными процессами. Создание разнообразных электронных, в особенности микроэлектронных устройств позволяет коренным образом повысить эффективность автоматизации процессов вычислений, обработки информации, осуществлять моделирование сложных физических явлений, решение логических задач и др. при значительном снижении габаритов, устройств, повышении их надежности и экономичности.

Значительный прогресс в электронике наметился после создания больших интегральных схем (БИС), быстродействие их измеряется миллиардными долями секунды, а минимальные размеры составляют 2—3 мкм. Внедрение БИС привело к созданию микропроцессоров, осуществляющих цифровую обработку информации по программе, и микроЭВМ.

Быстрое развитие микроэлектроники обусловило возникновение и заметный прогресс новой области науки и техники — информатики. Уже в начале 80-х гг. в нашей стране и за рубежом стали изготовлять микропроцессоры и микро-ЭВМ в одном кристалле. Все это дает огромный эффект в повышении надежности, снижении габаритов и потребляемой энергии микроэлектронных устройств, используемых в различных производственных процессах, автоматизированных систем управления, на транспорте, в бытовых устройствах.

2. Основные термины и определения.

Электротехника - это область науки и техники, изучающая электрические и магнитные явления и их использование в практических целях.

Электромагнитное поле - вид материи, определяемый во всех точках двумя векторными величинами, которые характеризуют две его стороны, называемые "электрическое поле" и "магнитное поле", оказывающий силовое воздействие на электрически заряженные частицы, зависящее от их скорости и электрического заряда.

Электрическое поле - одна из двух сторон электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду этой частицы и не зависящей от ее скорости.

Магнитное поле - одна из двух сторон электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду этой частицы и ее скорости.

Электромагнитная энергия - энергия электромагнитного поля, слагаемая из энергий электрического и магнитного полей.

Электрический ток - явление направленного движения носителей электрических зарядов и (или) явление изменения электрического поля во времени, сопровождаемые магнитным полем.

Электрическая емкость проводника - скалярная величина, характеризующая способность проводника накапливать электрический заряд.

Электропроводность - свойство вещества проводить под действием не изменяющегося во времени электрического поля не изменяющийся во времени электрический ток.

Проводник - вещество, основным электрическим свойством которого является электропроводность.

Полупроводник - вещество, основным электрическим свойством которого является сильная зависимость его электропроводности от воздействия внешних факторов. Примером такого внешнего фактора служит температура.

Электрическая цепь - совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе, электрическом токе и электрическом напряжении.

Элемент электрической цепи - отдельное устройство, входящее в состав электрической цепи, выполняющее в ней определенную функцию.

Участок электрической цепи - часть электрической цепи, содержащая выделенную совокупность ее элементов.

Ветвь электрической цепи - участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же электрический ток.

Узел электрической цепи - место соединения ветвей электрической цепи.

Электрическое соединение - соединение участков электрической цепи, с помощью которого образуется электрическая цепь.

Смешанное соединение участков электрической цепи - сочетание последовательного и параллельного соединений участков электрической цепи.

Резистор - элемент электрической цепи, предназначенный для изменения его электрического сопротивления.

Электрический конденсатор - элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрической емкости.

Индуктивная катушка - элемент электрической цепи, предназначенный для использования его собственной индуктивности и(или) его магнитного поля.

Активная электрическая цепь - электрическая цепь, содержащая источники электрической энергии.

Пассивная электрическая цепь - электрическая цепь, не содержащая источников электрической энергии.

Источник электрического напряжения - источник электрической энергии, характеризующийся электродвижущей силой и внутренним электрическим сопротивлением.

Источник электрического тока - источник электрической энергии, характеризующийся электрическим током в нем и внутренней проводимостью.

Схема электрической цепи - графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и показывающее соединения этих элементов.

3. Основные сведения о строении вещества и физической природе электричества

Наукой установлено, что все тела состоят из отдельных частиц — атомов и молекул. В природе имеется свыше 100 видов атомов, которые различаются массой и химическими свойствами. Каждый химический элемент состоит из атомов определенного вида. Молекулы образованы из нескольких атомов одного или различных химических элементов. Например, молекулы воды содержат атомы водорода и атомы кислорода, молекулы поваренной соли — атомы хлора и атомы натрия и т. д.

Упрощенно атом можно представить в виде ядра, окруженного оболочкой. Оболочка образована из постоянно движущихся с чрезвычайно большой скоростью мельчайших частиц — электронов, ядро — из протонов и нейтронов. Атомы настолько малы, что их нельзя увидеть даже в самый сильный микроскоп. В атомах разных химических элементов содержится различное количество протонов, нейтронов и электронов.

Электроны располагаются вокруг ядра (рис. 1) несколькими слоями (оболочками) на очень большом по сравнению со своими размерами расстоянии. Оболочки обозначаются латинскими буквами K, L, M, N, O, P и Q (в порядке удаления их от ядра). Самым простым атомом является атом водорода: он имеет только один электрон, расположенный на оболочке К. В наиболее сложных атомах радия и урана электроны располагаются на всех семи возможных оболочках. В пределах каждой оболочки электроны могут двигаться вокруг ядра только по строго определенным или, как их принято называть, разрешенным орбитам.

Согласно современным представлениям каждый из имеющихся в атоме электронов стремится занять одну из ближайших к ядру разрешенных орбит, остальные возможные орбиты пустуют. Электрон, вращающийся на самой близкой к ядру орбите, обладает минимальным количеством энергии, а вращающийся на самой удаленной — максимальной энергией (точно так же, как маховик малого диаметра может запасти значительно меньше энергии, чем маховик большого диаметра). Переход электрона с одной орбиты на другую связан с изменением его энергетического уровня.

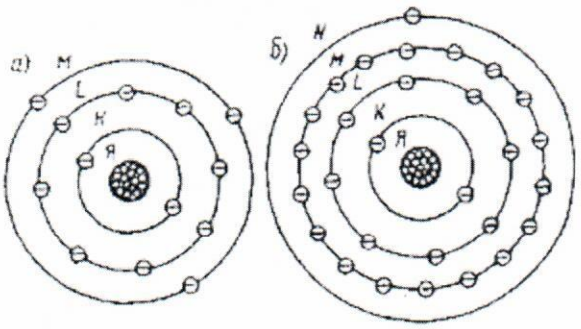

Рис. I. Схематическое изображение атомов алюминия (а) и меди (б)

Электроны, расположенные на внешней, самой удаленной от ядра оболочке, называются валентными. Ими определяется способность атомов

данного элемента вступать в химические связи друг с другом и с атомами других элементов, а также электропроводность различных материалов. Ядро и электроны обладают электрическими зарядами. Протоны имеют положительный заряд, электроны — отрицательный. Заряды протона и электрона равны. Нейтроны не имеют электрического заряда, т. е. являются нейтральными частицами. Между отрицательно заряженными электронами и положительно заряженным ядром возникают электрические силы, которые удерживают электроны в атоме и заставляют их двигаться вокруг ядра. Эти электрические силы определяют и размеры атомов. При очень тесном сближении двух атомов возникают огромные силы отталкивания между их электронами. Они препятствуют дальнейшему сближению и определяют объем, занимаемый атомом; внутрь этого объема не может проникнуть другой атом.

Ядра атомов являются значительно более устойчивыми системами, чем их электронные оболочки. Объясняется это тем, что между протонами и нейтронами действуют огромные силы взаимного притяжения, называемые ядерными силами. Эти силы значительно больше сил взаимного отталкивания между одноименными электрическими зарядами протонов, поэтому ядра атомов большинства химических элементов разделить на части очень трудно. Существуют, однако, и такие вещества (радий, уран, плутоний и др.), ядра атомов которых постепенно и самопроизвольно распадаются с выделением энергии. Эта энергия уносится в пространство в виде излучений. Такие вещества называются радиоактивными. Энергию, выделяющуюся при самопроизвольных, а также вызванных искусственным путем превращениях ядер атомов, называют атомной, или ядерной, энергией.

3.1. Физическая природа электричества.

Многие электрические явления и электрические свойства тел можно весьма просто и наглядно объяснить на основе электронной теории. Согласно

этой теории атомы при определенных условиях могут терять электроны или приобретать их от соседних атомов. В этом случае они перестают быть нейтральными, так как равновесие их электрических зарядов нарушается.

Атомы, потерявшие часть своих электронов, становятся положительно заряженными и называются положительными ионами. Атомы, получившие избыточные электроны, становятся отрицательно заряженными и называются отрицательными ионами.

Процесс превращения нейтральных атомов в электрически заряженные частицы — ионы — называют ионизацией. Ионизация может возникнуть только при сообщении атому определенного количества энергии: в виде тепла, путем бомбардировки его какими-либо частицами, при воздействии внешнего электрического поля и т. д. Наибольшая энергия требуется для освобождения валентных электронов. При сообщении атому сравнительно небольшой энергии валентные электроны кратковременно переходят на более удаленную орбиту, а затем перескакивают на прежнюю, более близкую к ядру. Однако при достаточно большой энергии (энергии ионизации) эти электроны могут совершенно оторваться от ядра и стать свободными.

Если в каком-либо теле накопятся электроны или ионы, такое тело становится электрически заряженным и приобретает электрические свойства. Эти свойства есть по сути дела проявление электрических сил, действующих между электронами и ядрами атомов.

3.2. Электрические заряды.

Количество электричества, содержащееся в заряженном теле, называется электрическим зарядом. Заряды бывают двух знаков: положительные (обозначаются знаком «+») и отрицательные (обозначаются знаком «—»).

Единицей электрического заряда в физике принято считать заряд электрона. В этих единицах измеряют количество электричества, запасенное в

атомах разных веществ. Однако заряд электрона очень мал, поэтому им практически неудобно измерять количество электричества, проходящее по проводам или поступающее в различные электрические устройства. В практической электротехнике для измерения электрических и магнитных величин принята Международная система единиц (СИ — система интернациональная). В этой системе электрические заряды, т. е. количество электричества, измеряют в кулонах (Кл); 1Кл больше заряда электрона в 6,29 $\cdot 10^{18}$ раз. Если по проводу прошло $6{,}29 \cdot 10^{18}$ электронов, то говорят, что по проводу прошло количество электричества, равное 1 Кл.

При взаимодействии электрических зарядов (электрически заряженных тел) между ними возникают электрические силы притяжения или отталкивания. Одноименные заряды создают силы отталкивания, разноименные — силы притяжения (рис. 2).



Рис. 2. Схемы взаимодействия электрических зарядов одноименных (а и б) и разноименных (в)

3.3. Физическая природа электрического поля и его графическое изображение.

В пространстве вокруг электрически заряженного тела существует электрическое поле, представляющее собой один из видов материи. *Электрическое поле* обладает запасом электрической энергии, которая проявляется в виде электрических сил, действующих на находящиеся в поле заряженные тела.

Электрическое поле условно изображают в виде электрических силовых линий, которые показывают направления действия электрических сил, создаваемых полем. Принято направлять силовые линии в ту сторону, в которую двигалась бы в электрическом поле положительно заряженная частица. Как показано на рис. 3, электрические силовые линии расходятся в разные стороны от положительно заряженных тел и сходятся у тел, обладающих отрицательным зарядом. Поле, созданное двумя плоскими разноименно заряженными параллельными пластинами (рис. 3, г), называется однородным .

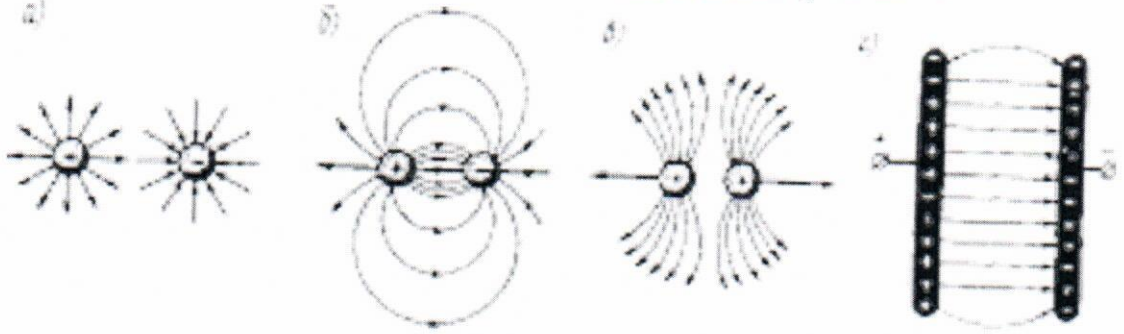

Рис. 3. Простейшие электрические поля: а – одиночных положительного и отрицательного зарядов; б – двух разноименных зарядов; в – двух одноименных зарядов; г – двух параллельных и разноименно заряженных пластин (однородное поле)

Электрическое поле можно сделать видимым, если поместить в него взвешенные в жидком масле частички гипса: они поворачиваются вдоль поля, располагаясь по его силовым линиям.

3.4. Напряженность электрического поля.

Электрическое поле действует на внесенный в него заряд q (рис. 4) с некоторой силой F. Следовательно, об интенсивности электрического поля можно судить по значению силы, с которой притягивается или отталкивается некоторый электрический заряд, принятый за единицу. В электротехнике интенсивность поля характеризуют напряженностью электрического поля E. Под напряженностью понимают отношение силы F, действующей на заряженное тело в данной точке поля, к заряду q этого тела:

$$\mathbf{E} = \mathbf{F} / \mathbf{q} \ (1)$$



Рис. 4. Картина распределения силовых линий электрического поля: а – заряженный шар; б – разноименно заряженные шары; в – разноименно заряженные параллельные пластины

Поле с большой *напряженностью* Е изображается графически силовыми линиями большой густоты; поле с малой напряженностью — редко расположенными силовыми линиями. По мере удаления от заряженного тела силовые линии электрического поля располагаются реже, т. е. напряженность поля уменьшается (см. рис. 5 а,б и в). Только в однородном электрическом поле (см. рис. 5, г) напряженность одинакова во всех его точках.

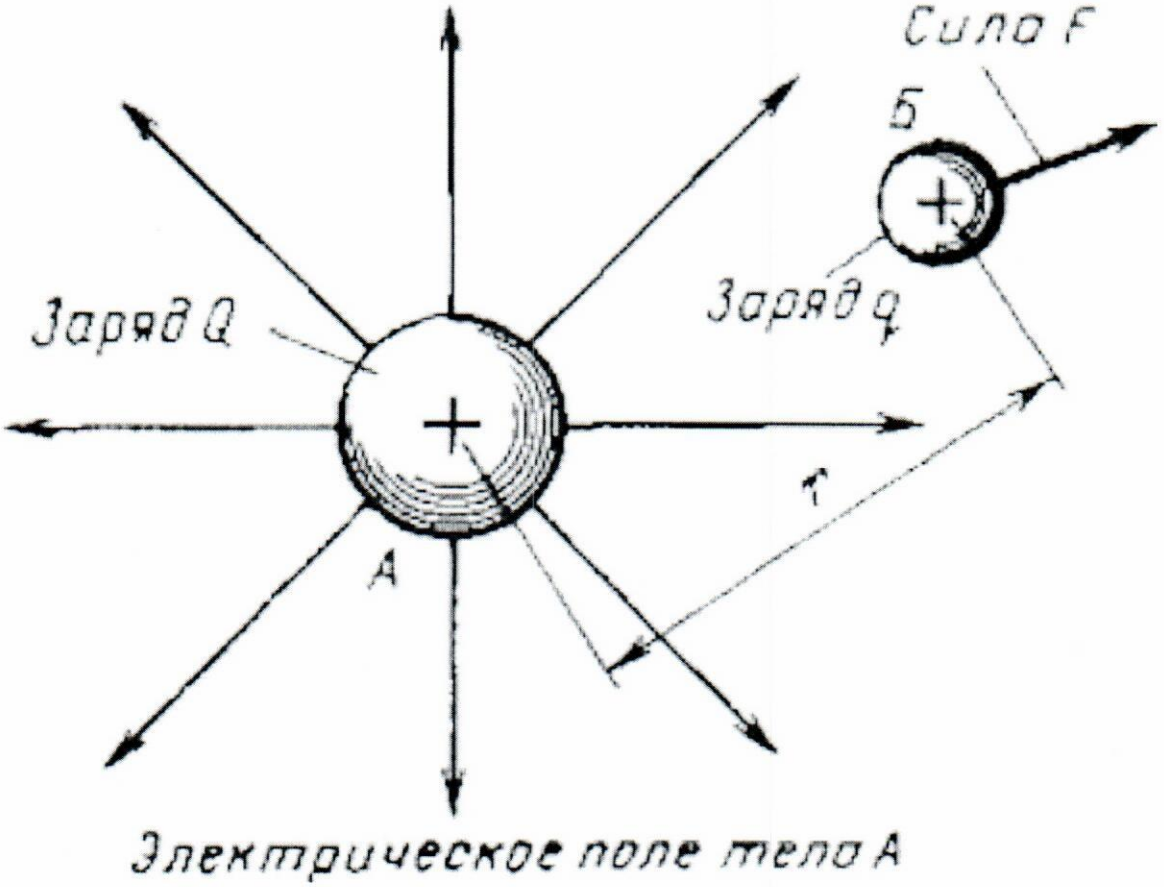

Рис. 5. Схема действия электрического поля на внесенный в него электрический заряд q

3.5. Электрический потенциал.

Электрическое поле обладает определенным запасом энергии, т. е. способностью совершать работу. Под действием сил поля этот заряд будет перемещаться по направлению силовых линий, совершая определенную работу. Для характеристики энергии, запасенной в каждой точке электрического поля, введено специальное понятие — электрический потенциал. Электрический потенциал поля в данной точке равен работе, которую могут совершить силы этого поля при перемещении единицы положительного заряда из этой точки за пределы поля.

3.6. Электрическое напряжение.

Различные точки электрического поля обладают разными потенциалами. Обычно нас мало интересует абсолютная величина потенциалов отдельных точек электрического поля, но нам весьма важно знать разность потенциалов между двумя точками поля А и Б (рис. 6).

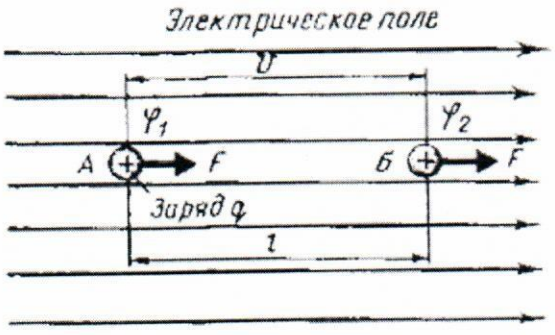

Рис. 6. Разность потенциалов U между точками А и Б электрического поля определяет работу, которая затрачивается на перемещение заряда q между этими точками

Разность потенциалов между двумя точками поля носит название электрического напряжения. Электрическое напряжение обозначают буквой U. Оно численно равно отношению работы W, которую нужно затратить на перемещение положительного заряда q из одной точки поля в другую, к этому заряду, т. е.

$$\mathbf{U = W / q}$$

Следовательно, напряжение U, действующее между различными точками электрического поля, характеризует запасенную в этом поле энергию, которая может быть отдана путем перемещения между этими точками электрических зарядов.

Электрическое напряжение — важнейшая электрическая величина, позволяющая вычислять работу и мощность, развиваемую при перемещении зарядов в электрическом поле. Единицей электрического напряжения служит вольт (В). В технике напряжение иногда измеряют в тысячных долях вольта — милливольтах (мВ) и миллионных долях вольта — микровольтах (мкВ). Для измерения высоких напряжений пользуются более крупными единицами — киловольтами (кВ) — тысячами вольт.

Напряженность электрического поля при однородном поле представляет собой отношение электрического напряжения, действующего между двумя точками поля, к расстоянию l между этими точками:

$$\mathbf{E = U / l} \quad (3)$$

Напряженность электрического поля измеряют в вольтах на метр (В/м). При напряженности поля в 1 В/м на заряд в 1 Кл действует сила, равная 1 ньютону (1 Н). В некоторых случаях применяют более крупные единицы измерения напряженности поля В/см (100 В/м) и В/мм (1000 В/м).

Двигаясь по металлической проволоке — проводнику — заряды создают электрический ток.

3.7. Электрический ток и электропроводность вещества

3.7.1. Электрический ток.

В веществе, помещенном в электрическое поле, под действием сил поля возникает процесс движения элементарных носителей электричества — электронов или ионов. Движение этих электрически заряженных частиц материи называют электрическим током.

За единицу силы тока принят ампер (А). Это такой ток, при котором через поперечное сечение проводника каждую секунду проходит количество электричества, равное 1 Кл. Силу тока иногда измеряют тысячными долями ампера — миллиамперами (мА) или миллионными долями ампера — микроамперами (мкА), а при больших значениях— тысячами ампер — килоамперами (кА), в формулах ток обозначают буквой I (i).

В электротехнике широко применяют как постоянный, так и переменный ток. Постоянным называют ток, значение и направление которого в любой момент времени остаются неизменными (рис. 7, а).

Токи, значение и направление которых не остаются постоянными, называют изменяющимися, или переменными. Чаще всего в электротехнических устройствах используют ток, изменяющийся по синусоидальному закону, который получают от генераторов переменного тока и трансформаторов (рис. 7, б). От выпрямителей получают пульсирующий ток (рис. 7, в), неизменный по направлению, но меняющийся по величине.

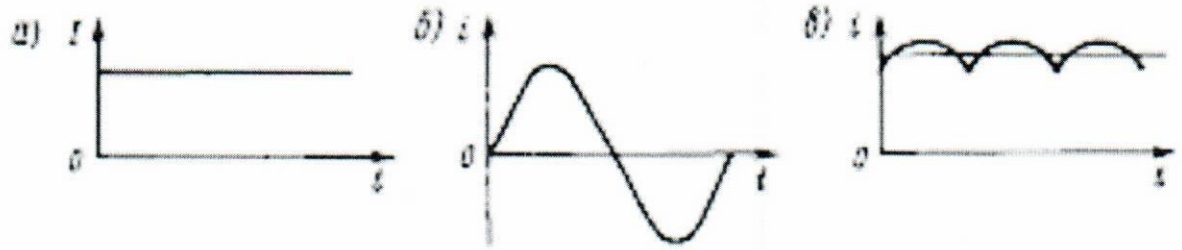

Рис. 7. Зависимости тока от времени: а — постоянный ток; б — переменный синусоидальный ток; в — пульсирующий ток

3.7.2. Электропроводность.

Свойство вещества проводить электрический ток под действием электрического поля называют электропроводностью. Электропроводность различных веществ зависит от концентрации свободных (т. е. не связанных с атомами, молекулами или кристаллической структурой) электрически заряженных частиц. Чем больше концентрация этих частиц, тем больше электропроводность данного вещества. Все вещества в зависимости от электропроводности делят на три группы: проводники, диэлектрики (изолирующие материалы) и полупроводники.

Проводники обладают очень высокой электропроводностью. Существуют два рода проводников, которые различаются физической природой протекания электрического тока. К проводникам первого рода относятся металлы. Прохождение по ним тока обусловлено движением свободных электронов, вследствие чего их называют проводниками с электронной проводимостью. Проводниками второго рода являются растворы кислот, щелочей и солей (в основном водные), называемые электролитами. Прохождение тока через электролиты связано с движением электрически заряженных частей молекул — положительных и отрицательных ионов, т. е. электролиты являются проводниками с ионной проводимостью.

Имеются также вещества со смешанной проводимостью, в которых ток переносится электронами и ионами. К ним относятся, например, газы и пары в ионизированном состоянии.

3.7.3. Физическая природа электропроводности металлов.

Высокая электропроводность металлов хорошо объясняется на основе электронной теории. Согласно этой теории валентные электроны сравнительно слабо связаны с их ядрами. Поэтому они свободно перемещаются между атомами, переходя из сферы действия одного атома в сферу действия другого и заполняя пространство между ними наподобие газа. Эти электроны принято называть свободными. Свободные электроны находятся в состоянии беспорядочного движения (рис. 8, а). Однако если внести металлический проводник в электрическое поле, то свободные электроны под действием сил поля начнут перемещаться в сторону положительного полюса (рис. 8, б), создавая электрический ток.

Электрический ток в металлических проводниках -упорядоченное (направленное) движение свободных электронов.

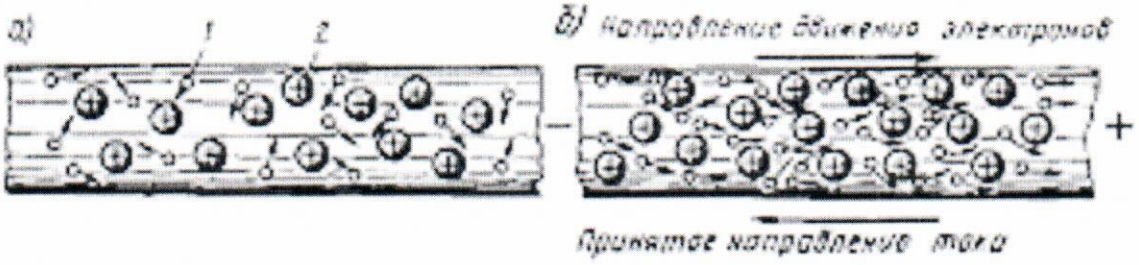

Рис. 8. Схема возникновения электрического тока в металлических проводниках: а — беспорядочное движение электронов; б — упорядоченное движение электронов

Металлоиды имеют на внешней оболочке большое количество электронов и они прочно удерживаются около своих ядер. Поэтому металлоиды, как правило, являются диэлектриками.

3.7.4. Скорость прохождения тока.

Электрическое поле распространяется в пространстве с огромной скоростью — 300 000 км/с, т. е. со скоростью света. С такой же скоростью проходит и электрический ток в проводнике. Однако каждый отдельный электрон движется в среднем по проводнику со скоростью несколько миллиметров или сантиметров в секунду (эта скорость зависит от напряженности электрического поля).

Чем же объяснить такую скорость распространения электрического тока? Причина в том, что каждый электрон находится в общем электронном потоке, заполняющем проводник, и при прохождении электрического тока испытывает непрерывное воздействие со стороны соседних электронов. Поэтому, хотя сам электрон движется медленно, скорость передачи движения от одного электрона к другому (скорость распространения электрической энергии) будет огромна. Например, при включении рубильника на электростанции практически мгновенно появляется ток в каждом участке электрической цепи целого города, несмотря на незначительную скорость движения электронов.

3.8. Электрическое сопротивление и проводимость

3.8.1. Физическая природа электрического сопротивления.

При движении свободных электронов в проводнике они сталкиваются на своем пути с положительными ионами 2, атомами и молекулами вещества, из которого выполнен проводник, и передают им часть своей энергии. При этом энергия движущихся электронов в результате столкновения их с атомами и молекулами частично выделяется и рассеивается в виде тепла, нагревающего проводник. Ввиду того что электроны, сталкиваясь с частицами проводника, преодолевают некоторое сопротивление движению, принято говорить, что проводники обладают электрическим сопротивлением. Если сопротивление проводника мало, он сравнительно слабо нагревается током; если сопротивление велико, проводник может раскалиться. Провода, подводящие электрический ток к электрической плитке, почти не нагреваются, так как их сопротивление мало, а спираль плитки, обладающая большим сопротивлением, раскаляется докрасна. Еще сильнее нагревается нить электрической лампы.

За единицу сопротивления принят ом. Сопротивлением 1 Ом обладает проводник, по которому проходит ток 1 А при разности потенциалов на его концах (напряжении), равной 1 В. Эталоном сопротивления 1 Ом служит столбик ртути длиной 106,3 см и площадью поперечного сечения 1 мм2 при температуре 0°С. На практике часто сопротивления измеряют тысячами ом — килоомами(кОм) или миллионами ом — мегаомами (МОм). Сопротивление обозначают буквой R (r).

3.8.2. Проводимость.

Всякий проводник можно характеризовать не только его сопротивлением, но и так называемой проводимостью — способностью проводить электрический ток. Проводимость есть величина, обратная сопротивлению. Единица проводимости называется сименсом (См). 1 См равен 1/1 Ом. Проводимость обозначают буквой G (g). Следовательно,

G = 1 / R (4)

3.8.3. Удельное электрическое сопротивление и проводимость

Атомы разных веществ оказывают прохождению электрического тока неодинаковое сопротивление. О способности отдельных веществ проводить электрический ток можно судить по их удельному электрическому сопротивлению р. За величину, характеризующую удельное сопротивление, обычно принимают сопротивление куба с ребром 1 м. Удельное электрическое сопротивление измеряют в Ом·м. Для суждения об электропроводности материалов пользуются также понятием удельная электрическая проводимость. Удельная электрическая проводимость измеряется в сименсах на метр (См/м) (проводимость куба с ребром 1м). Часто удельное электрическое сопротивление выражают в ом-сантиметрах (Омс ·м), а удельную электрическую проводимость — в сименсах на сантиметр (См/см). При этом 1 Ом ·см = 10^{-2} Ом ·м, а 1 См/см = 10^{2} См/м.

Проводниковые материалы применяют, главным образом, в виде проволок, шин или лент, площадь поперечного сечения которых принято выражать в квадратных миллиметрах, а длину — в метрах. Поэтому для удельного электрического сопротивления подобных материалов и удельной электрической проводимости введены и другие единицы измерения- измеряют

в Ом ·мм^2/м (сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2), а ρ — в С ·мм/мм^2(проводимость проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2).

Из металлов наиболее высокой электропроводностью обладают серебро и медь, так как структура их атомов позволяет легко передвигаться свободным электронам, затем следует золото, хром, алюминий, марганец, вольфрам и т. д. Хуже проводят ток железо и сталь.

Чистые металлы всегда проводят электрический ток лучше, чем их сплавы. Поэтому в электротехнике используют преимущественно очень чистую медь, содержащую только 0,05 % примесей. И наоборот, в тех случаях, когда необходим материал с высоким сопротивлением (для различных нагревательных приборов, реостатов и пр.), применяют специальные сплавы: константан, манганин, нихром, фехраль.

Следует отметить, что в технике, кроме металлических проводников, используют и неметаллические. К таким проводникам относится, например, уголь, из которого изготовляют щетки электрических машин, электроды для прожекторов и пр. Проводниками электрического тока являются толща земли, живые ткани растений, животных и человека. Проводят электрический ток сырое дерево и многие другие изоляционные материалы во влажном состоянии.

Электрическое сопротивление проводника зависит не только от материала проводника, но и его длины l и площади поперечного сечения s. (Электрическое сопротивление подобно сопротивлению, оказываемому движению воды в трубе, которое зависит от площади сечения трубы и ее длины.)

Сопротивление прямолинейного проводника

$$R = l\,\rho / s \quad (5)$$

Если удельное сопротивление ρ выражено в Ом ·мм /м, то для того чтобы получить сопротивление проводника в омах, длину его надо подставлять в формулу (5) в метрах, а площадь поперечного сечения — в квадратных миллиметрах.

3.9. Электрическая цепь и ее элементы

3.9.1. Составные элементы электрической цепи.

Электрическую цепь (рис. 9 а) образуют источники электрической энергии 1, ее приемники 3 (потребители) и соединительные провода. В электрическую цепь обычно включают также вспомогательное оборудование: аппараты 4, служащие для включения и выключения электрических установок (рубильники, переключатели и др.), электроизмерительные приборы 2 (амперметры, вольтметры, ваттметры), защитные устройства (предохранители, автоматические выключатели).

В качестве источников электрической энергии применяют главным образом, электрические генераторы и гальванические элементы или аккумуляторы. Источники электрической энергии часто называют источниками питания. В приемниках электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии. К приемникам относятся электродвигатели, различные электронагревательные приборы, лампы накаливания, электролитические ванны и др.

Электрическая цепь может быть разделена на два участка: внешний и внутренний. Внешний участок, или, как говорят, внешняя цепь, состоит из одного или нескольких приемников электрической энергии, соединительных

проводов и различных вспомогательных устройств, включенных в эту цепь. Внутренний участок, или внутренняя цепь,— это сам источник.

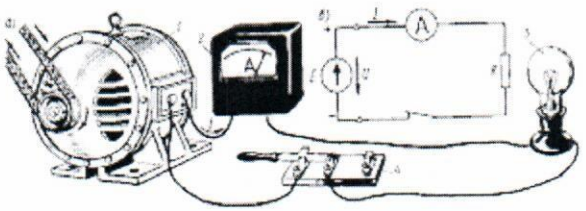

Рис. 9. Простейшая электрическая цепь постоянного тока (а) и ее принципиальная схема (б)

3.9.2. Изображение электрических цепей и их элементов.

В схемах реальных электрических устройств (электровозов, тепловозов и др.) отдельные элементы имеют свои условные обозначения в соответствии с государственными стандартами.

При составлении расчетных схем элементы электрической цепи, имеющие некоторое сопротивление, например электрические лампы, электронагревательные приборы (в том числе и соединительные провода, если их необходимо учитывать при расчете), изображают в виде сосредоточенных в соответствующем месте схемы резисторов с сопротивлением R (рис. 9, б). То же относится к элементам, имеющим индуктивность (обмотки генераторов, электродвигателей и трансформаторов) и емкость (конденсаторы). На расчетных схемах их изображают в виде сосредоточенных в соответствующем месте катушек индуктивности и конденсаторов. Источники электрической энергии в схеме электрической цепи часто могут быть представлены в виде идеализированных источников, у которых внутреннее сопротивление $R_o = 0$.

Для того чтобы учесть внутреннее сопротивление реального источника, в схему вводят изображение резистора с сопротивлением R_o или ставят букву R_o возле условного обозначения источника.

Вспомогательные элементы электрических цепей (аппараты для включения и выключения, защитные устройства, некоторые электро-измерительные приборы) в большинстве случаев имеют малые сопротивления и практически не оказывают влияние на значения токов и напряжений, поэтому при расчете электрических цепей их не принимают во внимание и не указывают на схемах.

3.9.3. Направления тока, напряжения и электродвижущей силы в электрической цепи.

В схемах электрических цепей направления тока, напряжения и э. д. с. изображают стрелками. За положительное направление тока принято направление движения положительных зарядов, т. е. ток во внешней цепи изображают стрелкой I, направленной от положительного зажима источника электрической энергии к отрицательному его зажиму (см. рис.9,б), во внутренней цепи ток направлен от отрицательного зажима к положительному. Положительное направление напряжения совпадает с положительным направлением тока. Стрелка U направлена от положительного зажима источника или приемника к отрицательному зажиму. Положительное направление э. д. с. совпадает с положительным направлением тока внутри источника (стрелка E направлена от отрицательного зажима источника к положительному).

В сложных электрических цепях бывает затруднительно показать действительные направления тока и напряжения на отдельных участках цепи. В таких случаях принимают произвольно какие-либо их направления, которые считают условно положительными, и для этих направлений выполняют расчет

электрической цепи. Если в результате расчета выясняется, что какие-то токи и напряжения имеют положительный знак, то это означает, что выбранные для них направления соответствуют действительности. Если же какие-то токи и напряжения получаются отрицательными, то в действительности они имеют направление, противоположное выбранному.

3.9.4. Закон Ома

Закон Ома для электрической цепи.

Согласно этому *закону* сила тока I в электрической цепи равна э. д. с. E источника, поделенной на сопротивление цепи $R_ц$, т. е.

$$\mathbf{I = E / R_ц}$$

Полное сопротивление замкнутой электрической цепи можно представить в виде суммы сопротивления внешней цепи R (например, какого-либо приемника электрической энергии) и внутреннего сопротивления Ro источника. Поэтому сила тока

$$\mathbf{I = E / (R+Ro)}$$

Чем больше э. д. с. E источника и чем меньше сопротивление электрической цепи, тем больший ток проходит по этой цепи. Из данной формулы следует, что э. д. с. источника электрической энергии равна произведению силы тока на полное сопротивление электрической цепи:

$$\mathbf{E = IR_ц}$$

Закон Ома для участка электрической цепи.

Закон Ома может быть применен не только ко всей цепи, но и к любому ее участку, например между точками а и б (см. рис. 10). В этом случае э. д. с. E источника в формуле должна быть заменена разностью потенциалов между началом и концом рассматриваемого участка, т. е. напряжением U, а вместо сопротивления всей цепи в формулу должно быть подставлено сопротивление R данного участка. В этом случае закон Ома формулируется следующим образом. Сила тока I на данном участке электрической цепи равна напряжению U, приложенному к участку, поделенному на сопротивление R этого участка:

I = U / R (9)

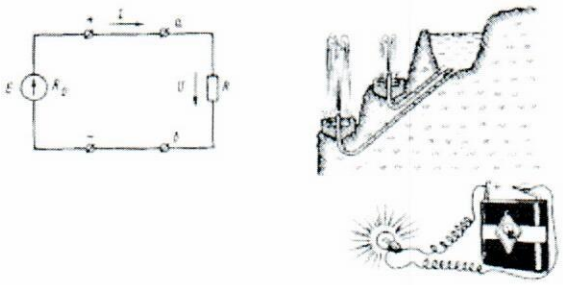

Рис. 10. Схема простейшей электрической цепи

Прохождение электрического тока по проводникам полностью аналогично прохождению воды по трубам (рис. 10). Чем больше разность уровней воды при входе и выходе из трубы (напор) и чем больше поперечное сечение трубы, тем больше воды протекает сквозь трубу в единицу времени. Точно так же, чем больше разность электрических потенциалов (напряжение) на зажимах источника или приемника электрической энергии и чем меньше его сопротивление (т. е. чем больше площадь поперечного сечения проводника), тем больший ток проходит по нему. Из формулы следует, что напряжение U, действующее на некотором участке цепи, равно произведению силы тока I на сопротивление R этого участка:

U = IR (10)

4. Материалы, применяемые в электротехнике

4.1. Свойства проводниковых материалов

Различные металлы и сплавы из них относятся к твердым проводниковым материалам. Известно, что свободные электроны являются носителями электрических зарядов в металлах. Они движутся беспорядочно при отсутствии внешнего электрического поля. В одном определенном направлении свободные электроны в проводнике начинают движение под действием электрического поля, образуя в последствии электрический ток. Свойство металлов объясняется хорошей проводимостью электрического тока, а это значит металл обладает большой плотностью свободных электронов. Малое удельное сопротивление имеют химически чистые металлы. Как правило, сплавы по сравнению с чистыми металлами обладают большим удельным сопротивлением. Известно, что с повышением температуры сопротивление металлов увеличивается. Производя расчеты с целью выбора проводниковых материалов это необходимо учитывать, так как они нагреваются во время прохождения по ним электрического тока. В среднем температурный коэффициент сопротивления чистых металлов составляет $4 \cdot 10^{3} C^{-1}$. Удельное сопротивление отдельных проводников при понижении температуры уменьшается, например, удельное сопротивление алюминия равно 0,05 нОм/м при температуре жидкого водорода 20 К, т.е. в 524 раза меньше, чем при температуре 20°С 293 К. При охлаждении до определенной критической температуры, близкой к абсолютному нулю, у многих проводников, кроме золота, меди, серебра и некоторых других металлов, электрическое сопротивление скачкообразно падает до нуля. Это свойство называется у проводников сверхпроводимостью.

Широкое практическое применение в настоящее время находит явление сверхпроводимости, например, при сооружении трансформаторов, мощных электромагнитов, электрических машин, кабелей. Поддержание низких температур связано пока с большими материальными затратами, так как при работе электроустановок и электрооборудования обходится слишком дорого. Используя проводниковые материалы в электроустановках, обращают внимание на плотность применяемых материалов, их удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления, химические и механические свойства, температуру их плавления.

Проводниковые материалы различают по механическим свойствам: прочность при растяжении, изгибании, твердость, которые учитываются при конструировании и проектировании электроустановок. При выборе и применении проводниковых материалов учитываются их химические свойства. Например, если проводники требуется использовать в условиях повышенной влажности, то их помещают в герметические оболочки или даже в некоторых случаях защищают антикоррозионными покрытиями. Также, выбирая проводники, важно учитывать свойство соединения путем сварки и пайки.

4.2. Характеристики проводниковых материалов

Главные характеристики проводниковых материалов, нередко используемых для изготовления токоведущих частей электрических установок общего назначения показаны в таблице 1. По мере необходимости эту таблицу можно использовать при выполнении различных расчетов, связанных с электротехнической работой.

Таблица 1. Главные характеристики проводниковых материалов

Наименование материала	Удельное электрическое сопротивление 10^{-8} Ом·м	Плотность кг/м^3	Температура плавления °С	Изделия, для изготовления которых применяется материал
Алюминий	2,6	2700	660	Провода, кабели, контактные зажимы, корпуса электромашин, детали приборов
Медь	1,72 - 1,75	8960	1084,5	Привода, кабели, контактные зажимы
Сталь	10 - 14	7700 - 7900	1400 - 1530	Провода, конструктивные части электроустановок
Бронза	2 - 5	8500 - 8900	885 - 1050	Провода для контактных линий, скользящие и штепсельные контакты, пружины электроизмерительных приборов
Латунь	3,1 - 7,9	8500 - 9700	900 - 960	Контактные зажимы, контактные ножи рубильников, колпачки радиоламп
Свинец	21	11350	327	Припои, аккумуляторные пластины, оболочки кабелей, плавкие предохранители
Олово	12	7290	232	Припои, фольга для конденсаторов
Цинк	5,9	7140	419,6	Антикоррозионные покрытия, припой, электроды гальванических элементов, металлизированная бумага для конденсаторов
Манганин	48	8500	1000	Эталоны и магазины сопротивления, шунты и добавочные резисторы, термопары
Константан	48 - 52	8900	1275	Реостаты, термопары
Нихром	100 - 110	8100 - 8400	1400	Нагревательные элементы промышленных электронагревательных приборов
Фехраль	120 - 130	6900 - 7500	1450	Нагревательные элементы бытовых и промышленных электронагревательных приборов, реостаты

4.3. Токопроводящие цветные металлы

Об экономии материалов необходимо помнить, выбирая материалы, относящихся к категории цветных металлов, хоть производство в стране их и увеличивается. Например, в электротехнике широко используется алюминий, который обладает неплохой теплопроводностью, а также небольшой плотностью, отлично прокатывается в тонкие листы, использующиеся для изготовлении фольги, но у него сравнительно невелика прочность на излом и разрыв. Алюминий быстро окисляется на воздухе, покрываясь мелким слоем оксида Al_2O_3,из-за этой пленки затруднено в дальнейшим образование электрических контактов, поэтому перед соединением алюминиевых проводников их нужно обязательно тщательно очищать от неё, при непрочном соединении может возникнуть разрушение проводников. Температура плавления оксида алюминия высока, порядка 2000^0C, и соответственно пайка алюминия обычными способами затруднена, поэтому применяют ультразвуковые паяльники или специальные припои. Предпочтительнее соединять алюминиевые проводники сваркой. Алюминий подразделяют: не отожженный – твёрдый «марка АТ» и отожженный – мягкий «марка АМ».

Медь различают в зависимости от технологии производства: не отожженную – твёрдую «марка МТ» и отожженную– мягкую «марка ММ». Медь все чаще заменяют алюминием в электротехнических устройствах как менее дорогим и дефицитным материалом.

Алюминий и медь для электротехнических целей могут быть получены с помощью гидролиза.

Сталь является не только проводниковым материалом, но и магнитным. Специальную электротехническую сталь применяют в качестве магнитного материала.

Бронза, по определению, это сплав олова, алюминия, меди и кремня с добавлением фосфора (фосфористая бронза), или с добавлением кадмия (кадмиевая бронза). Фосфористая бронза (в ней около 0,13% фосфора) обладает повышенной упругостью и твердостью, в кадмиевой бронзе где-то около 1% кадмия – она устойчива на износ трением.

Латунь плавится при сравнительно высокой температуре, обладает высокой механической прочностью, хорошо поддается сварке, штамповке, пайке, будучи сплавлена из меди и цинка отлично устойчива против коррозии.

Константан, фехраль, манганин, нихром, и т.п. – проводниковые материалы с большим удельным электрическим сопротивлением, также характеризуемые и высокой механической прочностью.

Для изготовления деталей точных электроизмерительных приборов одни из этих металлов применяют главным образом из-за продолжительного времени эксплуатации и их сопротивлений, то есть при изменении температуры они сохраняют сопротивление постоянным. Другие используют для реостатов (резисторов), так как они выдерживают высокую температуру, имея небольшой температурный коэффициент сопротивления и являются сравнительно дешевыми, что, несомненно важно для производства из них массовой продукции. Для электронагревательных приборов и нагрузочных реостатов применяются жаростойкие металлы. Вместо константана применяют более дешевый материал – нейзильбер, который обладает аналогичными свойствами, представляя собой сплав никеля 5-35% с медью и 13-45% цинком.

Из неметаллических проводниковых материалов широко используется электротехнический уголь, который получают из образований углерода: графита, сажи, каменного угля. Измельченную угольную массу мешают с каменноугольной смолой и при высокой температуре обжигают. Электротехнический уголь используют в виде порошка, например, при изготовлении микрофонов, щеток, входящих в устройство электрических

машин, а также в качестве электродов для сварочных аппаратах, в электрических печах

.

4.4. Электрические свойства электроизоляционных материалов.

Как известно, электропроводность электроизоляционных материалов в отличие от проводников обусловлена движением не электронов, а ионов под действием электрического поля. Очень малой электропроводностью обладают электроизоляционные материалы. Обусловленный этой электропроводностью ток называют током утечки. Он способен проходить как по поверхности диэлектрика, так и через весь его объем. От этого различают два вида тока утечки: объемный и поверхностный. Так же имеют различия и два вида электрического сопротивления диэлектриков: удельное объемное сопротивление и удельное поверхностное сопротивление.

Токи утечки возникают по причине нагревания диэлектрика и рассеяния энергии в окружающую среду, что говорит о потери энергии в диэлектрике; их называют мощностью диэлектрических потерь. Рассеянием энергии в окружающую среду при технических расчетах, вызванным поверхностным током утечки, нередко пренебрегают, оно, как правило, не влияет существенно на работу электрических аппаратов, машин и т.д. Поэтому удельное объемное электрическое сопротивление служит основной характеристикой диэлектрика.

Объемное удельное электрическое сопротивление вещества равно сопротивлению, которое оказывает куб (с ребром в единицу длины), сделанный из этого вещества, току, проходящему через две противоположные грани, перпендикулярно к ним. Большим удельным объемным электрическим сопротивлением обладают электроизоляционные материалы:

- жидкие – от 10^{10} до 10^{13} Ом/м,
- газообразные – от 10^{14} до 10^{16} Ом/м,

- твердые – от 10^{16} до 10^{18} Ом/м.

Под действием высокого электрического напряжения, приложенного к электроизоляционному материалу определенной толщины, в нем может установиться сильный ток. Называют это явление электрическим пробоем. При большом электрическом напряжении электроизоляционный материал может быть пробит. Величина, равная напряжению называется электрической прочностью. В лаборатории на специальной установке электрическую прочность определяют опытным путем. Сначала измеряют напряжение, при котором образец электроизоляционного материала определенной толщины пробивается, а затем электрическую прочность вычисляют по формуле:

$$E_{пр} = \frac{U}{h}$$

$E_{пр}$ – электрическая прочность, кВ/мм;

U – напряжение, кВ;

h – толщина образца электроизоляционного материала, мм.

4.5. Характеристики газообразных и жидких электроизоляционных материалов

Воздух является наиболее распространенным газообразным диэлектриком и используется в подавляющем числе электрических аппаратов и машин. Воздух изолирует друг от друга провода воздушных линий электропередач и в дополнение к твердым или жидким электроизоляционным материалам выполняет роль диэлектрика. Но электрическая прочность воздуха сравнительно мала, поэтому в качестве диэлектриков в электроустановках используют многие другие газообразные вещества (таблица 2).

Таблица 2 Характеристика газообразных диэлектриков

Наименование материала	Состав материала	Плотность кг/м^3	Электрическая прочность кВ/мм
Воздух	Смесь газов	1,293	3
Азот	N_2	1,251	3
Водород	H_2	0,0898	1,8
Элегаз (фторид серы VI)	SF_6	6,48	7,2
Фреон (дихлордифторметан)	CCl_2F_2	0,543	7,8

Из жидких диэлектриков в электроустановках применяют в основном две группы (таблица 3):

- синтетические электроизоляционные жидкости;
- минеральные (нефтяные) электроизоляционные масла, а также масло касторки.

Таблица 3 Характеристика некоторых электроизоляционных жидкостей

Наименование материала	Плотность кг/м^3	Температура вспышки паров, °С	Удельное объёмное сопротивление, Ом·м	Электрическая прочность кВ/мм
Трансформаторное масло	880	135	$10^{16} - 10^{17}$	18
Кабельное масло	900	135	$10^{16} - 10^{17}$	18 – 20
Конденсаторное масло	920	135	$10^{16} - 10^{17}$	20
Совол (хлорированный дифенил)	1560	200	10^{16}	18
Совтол-2 (смесь совола с трихлорбензолом)	1520	200	$10^{15} - 10^{16}$	20

Путем фракционной вакуумной перегонки нефти получают нефтяные электроизоляционные масла. При температуре 300-400 °С частично выкипают вредные примеси нефти: сернистые соединения, органические кислоты, смолисто-битумные вещества, ненасыщенные углеводороды. В электроизоляционном масле наличие этих примесей ухудшает его электроизоляционные свойства.

После перегонки масло очищают, применяя кислоты (удаление нестойких примесей), воду (удаление продуктов нейтрализации кислоты), щелочи (нейтрализация имеющейся в масле серной кислоты), а также сушат. Масла различают в зависимости от степени их очистки:

- конденсаторное
- трансформаторное
- кабельное

Конденсаторное и кабельное масла в отличии от трансформаторного лучше очищены.

Старение - особое свойство нефтяных масел, которое возникает из-за окисления со временем под воздействием воздуха и электрического поля различных металлов (особенно медь и латунь), при этом ухудшаются электроизоляционные свойства масла. Чтобы замедлить процесс окисления масла, с ним смешивают присадки, называемые ингибиторами. Путем регенерации восстанавливают свойства состаренного масла, что дает большой экономический эффект.

Из синтетических жидких диэлектриков наиболее широко применяют совтол и совол, но эти жидкости токсичны, поэтому необходимо соблюдать повышенную осторожность при работе с ними.

4.6. Характеристики твердых электроизоляционных материалов

В таблице 4 дана классификация и свойства наиболее распространенных диэлектриков, а также указаны области их применения.

Таблица 4 Характеристика некоторых твёрдых электроизоляционных материалов

Наименование	Плотность, кг/м³	Удельно-объёмное сопротивление Ом·м	Электрическая прочность кВ/мм	Некоторые физико-механические и химические свойства	Основная область применения в электротехнике
Пропиточные и заливочные материалы					
Канифоль	1070 - 1085	$10^{12} - 10^{18}$	15	Легкое, хрупкое, неокисляющееся вещество, размягчается при 50-70°С, при температуре 150°С растворяет оксид меди	В качестве флюса при пайке меди, пропитка бумажной изоляции
Парафин	850 - 930	$10^{14} - 10^{16}$	20 - 30	Размягчается около 60°С	Заливка и пропитка электротехнических изделий
Эпоксидная смола	1100 - 1250	$10^{15} - 10^{17}$	16 - 20	Обладает высокой нагревостойкостью	Пропитка обмоток, заливка муфт кабелей
Бакелитовая смола	1100 - 1300	$10^{12} - 10^{14}$	10 - 40	Высокая стойкость против действия влаги, кислот, щелочей	Пропитка обмоток, производство слоистых пластиков
Волокнистые материалы					
Древесина сухая: берёза, бук, дуб, и т.д.	Зависит от породы древесины и степени сушки	$2 \cdot 10^{4} - 8 \cdot 10^{8}$	22 - 50	Небольшая плотность, высокая влагопоглощаемость, горючесть	Изготовление панелей, каркасов, опорных и крепежных деталей аппаратуры
Электроизоляционная бумага	700 - 1100	$10^{15} - 10^{16}$	5 - 10	Небольшая плотность, горючесть, высокая механическая прочность	Изготовление конденсаторов, кабелей, производство слоистых пластиков, оклейка деталей электроаппаратуры
Электроизоляционный картон	950 - 1250	10^{11}	8 - 30	Легко поддаётся механической обработке	Изготовление каркасов катушек, прокладок
Фибра	1100 - 1300	10^{10}	3 - 7	Высокая механическая прочность, в пламени электродуги выделяет дугогасящие газы	Изготовление дугогасящих камер, патронов трубчатых предохранителей
Асбест	2300 - 2600	$10^{10} - 10^{14}$	1,5 - 3	Высокая нагревостойкость, плавится при 1150°С	Электро- и теплоизоляция, производство асбокартона и асбоцемента
Лакоткани	900 - 1200	$10^{10} - 10^{13}$	12 - 60	Хлопчатобумажные, шёлковые, капроновые, стеклянные материалы, пропитанные лаком и обладающие большой гибкостью	Гибкая изоляция и прокладки в электрических машинах и аппаратах
Слоистые пластики					
Гетинакс	1280 - 1450	$10^{12} - 10^{13}$	12 - 30	Высокая механическая прочность, морозостойкость, нагревостойкость	Аппаратостроение, приборостроение (напряжение до 1000 В)
Текстолит	1300 - 1400	$10^{11} - 10^{14}$	5 - 16	То же	То же
Стеклотекстолит	1600 - 1800	$10^{12} - 10^{14}$	10 - 32	Более высокие электрические и механические качества, чем у текстолита	То же
Полимерные материалы					
Полистирол	1050 - 1100	$10^{17} - 10^{19}$	25 - 30	Прозрачный термопластичный материал	Изготовление каркасов, катушек, и т.д.
Полиэтилен	920 - 960	$10^{17} - 10^{19}$	40 - 42	Обладает гибкостью и стойкостью к воде и растворителям	Гибкая изоляция проводов и кабелей, каркасы катушек, изоляционные платы
Полиметилметакрилат - органическое стекло	1190	$10^{14} - 10^{15}$	15 - 18	Прозрачный термопластичный материал	Изготовление электроизоляционных и конструкционных деталей
Поливинилхлоридный пластикат	1300 - 1400	$10^{15} - 10^{16}$	15 - 20	Негорючий, термопластичный, химически стойкий материал с повышенной гибкостью	Гибкая изоляция проводов, кабелей, изготовление изоляционных трубок, лент..
Минеральные твёрдые диэлектрики					
Слюда	2800 - 2900	10^{17}	140 - 180	Высокая гибкость и нагревостойкость, слабая влагопоглощаемость	Изоляция электромашин, изготовление конденсаторов, миканита
Электрофарфор	2300 - 2500	$10^{14} - 10^{16}$	12 - 28	Высокая механическая прочность и нагревостойкость	Изготовление роликов, изоляторов, резисторов, конденсаторов, и т.д.
Миканит коллекторный	Зависит от способа производства и марки	$10^{14} - 10^{16}$	18 - 22	Твёрдый листовой материал из листочков слюды (склеенных)	Изоляционные прокладки в коллекторах электрических машин

4.7. Свойства магнитных материалов

Магнитные материалы, усиливающие магнитное поле называются ферромагнитными (ферромагнетики). К этим материалам относятся кобальт, железо, никель, а также многие их сплавы. Их используют в изготовлении сердечников электромашин, электромагнитов, трансформаторов и во многих других различных электромагнитных аппаратах и приборах.

Ниже рассмотрены их свойства и область применения в электротехники. При переменном магнитном поле ферромагнитные материалы работают во многих электроустановках, вследствие чего происходит перемагничивание магнитных материалов. При изменении магнитного поля в цикле, что происходит, например, при работе трансформаторов и электрических машин переменного тока, график намагничивания материала принимает форму замкнутой кривой, именуемой петлей гистерезиса (рис 11).

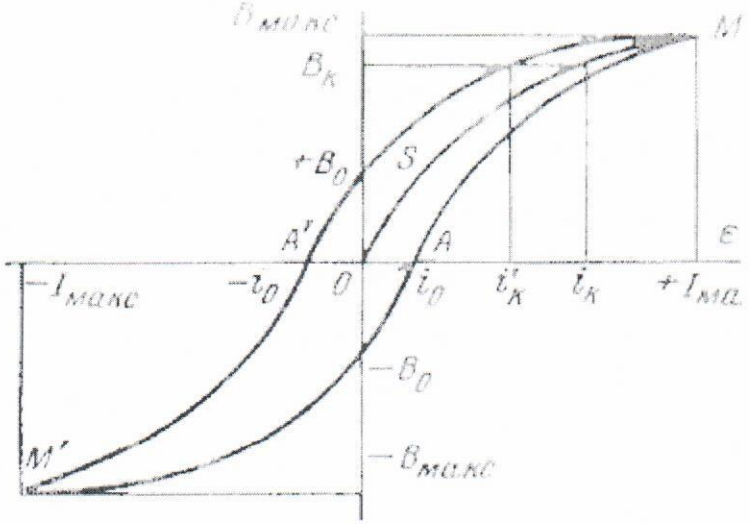

Рис. 11. Петля гистерезиса - зависимость индукции В от изменения тока

В первый момент напряженность и магнитная индукция магнитного поля равны нулю. По мере возрастания напряженности магнитного поля увеличивается магнитная индукция и в определенный момент достигает максимального для данного материала значения. Магнитная индукция при

уменьшении напряженности уменьшается, но её уменьшение происходит медленнее, поэтому, когда напряженность становится равной нулю, магнитная индукция еще не достигает нулевого значения. Магнитную индукцию в намагниченном до максимума материале, при которой напряженность магнитного поля равна нулю, называют остаточной магнитной индукцией.

Изготовление постоянных магнитов основано на этом явлении. Напряженность, достигнув нулевого значения продолжает уменьшаться; уменьшается и магнитная индукция; когда напряженность достигнет значения коэрцитивной силы, магнитная индукция становится равной нулю – материал размагнитится.

В течение перемагничивания тратится часть энергии на нагревание материала. Число этой энергии (называют потери энергии на гистерезис) пропорционально к площади петли гистерезиса. Поэтому от петли гистерезиса, её формы, зависят его магнитные характеристики, что в свою очередь определяется свойствами материала.

Магнитно-твердые и магнитно-мягкие материалы различают следующим образом. Магнитно-мягкие материалы отличаются незначительными потерями энергии на гистерезис, обладают малой коэрцитивной силой и большой магнитной проницаемостью. Этим характерно применение магнитно-мягких материалов в изготовлении электрических аппаратов и машин, а также трансформаторов и других устройств, так сказать, где нужно быстрое перемагничивание и намагничивание с небольшими потерями энергии. Магнитно-твердые материалы обуславливаются относительно крупными потерями на гистерезис, располагают большой коэрцитивной силой, но также как и магнитно-мягкие материалы, имеют большую магнитную проницаемость. После снятия намагничивающего поля магнитно-твердые материалы остаются намагниченными, и поэтому их применение главным образом состоит в изготовлении постоянных магнитов.

Ещё одну характеристику важно учитывать для экономичного использования магнитных материалов. Согласно закону электромагнитной индукции в сердечниках электрических аппаратов, машин, действующих на переменном токе, появляются индукционные токи (вихревые), которые нагревают сердечник, то есть, магнитопровод, от чего часть энергии переходит в окружающее пространство и теряется. Такие энергетические потери называют потерями на вихревые токи. Количество потерь на вихревые токи зависит от конструкции магнитопровода и удельного электрического сопротивления магнитного материала.

Изготавливают магнитопроводы с целью понижения значения вихревых токов, из легированной кремнием стали, и делают их не сплошными, а собирают из тонких листов (пластин), изолированных друг от друга. Удельное электрическое сопротивление увеличивается из-за наличия в нём кремния, а пластины «разрезают» контуры вихревых токов, которые в соответствии закону электромагнитной индукции образуются в плоскостях, перпендикулярных магнитным потокам в магнитопроводе.

4.8. Характеристики магнитных материалов

Электротехническую сталь используют в электротехнике в качестве основного магнитного материала. Электротехническая сталь представляет собой магнитно-мягкий материал и поэтому она широко применяется в устройстве электромагнитных реле, электрических приборов, трансформаторов, дросселей, аппаратов, электрических машин. Путем холодной или горячей прокатки производят листовую электротехническую сталь. Горячекатаная электротехническая сталь обладает изотропными магнитными свойствами и содержит до 4,5% кремния. Холоднокатаная электротехническая сталь может быть в отношении магнитных свойств как изотропной, так и анизотропной.

Холоднокатаная электротехническая сталь может быть текстурованной; она получается повторным прокатом листа, который за этим подвергают отжигу, вследствие чего изменяется кристаллическая структура стали, тем самым улучшает её способность намагничиваться. Надо учитывать, что при механической обработке электротехнической стали от ударов, штамповки, резания и т.п., ухудшаются её магнитные свойства.

На данный момент производятся самые различные стали, имеющие различие в структуре, свойстве, назначении. Марки электротехнической стали обычно записываются в следующем виде: Э42, ,Э47А, Э11, Э330 и т. п.

Цифры и буквы определяют следующее:

Э – электротехническая сталь; первая цифра после буквы Э, от 1 до 4, указывает процент содержания кремния, а точнее:

- 1 – низколегированная 0,8-1,8%;
- 2 – среднелегированная 1,8-2,8%;
- 3 – повышеннолегированная 2,8-3,8%;
- 4 – высоколегированная 3,8-4,8%.

Цифры 1...8, обозначенные на втором месте после буквы Э, характеризуют гарантированные ГОСТ магнитные и электрические свойства, а точнее:

- 1 – нормальные удельные потери;
- 2 – пониженные потери;
- 3 – низкие потери;
- 4 – низкие потери при частоте 400 Гц;
- 5 – нормальная магнитная проницаемость в слабых магнитных полях;

- 6 – повышенная магнитная проницаемость в слабых магнитных полях;
- 7 – нормальная магнитная проницаемость в средних магнитных полях;
- 8 – повышенная магнитная проницаемость в средних магнитных полях.

Третья цифра после буквы Э обозначает холоднокатаную текстурованную сталь «0» или холоднокатаную малотекстурованную сталь «00». Буква А указывает на особо низкие удельные потери.

Пример этому: Э21 – электротехническая сталь, среднелегированная, обладает нормальными удельными потерями на нагревание вихревыми токами и вследствие гистерезиса; Э47А – электротехническая сталь, высоколегированная, обладает нормальной магнитной проницаемостью в средних магнитных полях и очень низкими удельными потерями; Э320 – электротехническая сталь, повышеннолегированная, обладает пониженными удельными потерями, холоднокатаная текстурованная.

В предназначенных для работы в слабых магнитных полях электрических устройствах, например, в каких-то трансформаторах и измерительных приборах, применяют магнитно-мягкий материал – пермаллой. Он представляет собой железоникелевый сплав: 45-80% никеля, легированный хромом, молибденом, кремнием, а также обладает повышенным удельным электрическим сопротивлением и легко намагничивается в слабых магнитных полях.

Марки пермаллоев различают от зависимости содержания никеля. Пермаллои с низким содержанием никеля используют для изготовления катушек индуктивности, магнитопроводов трансформаторов, приборов и аппаратов, применяющихся главным образом в связи, автоматике, радиотехнике.

Для изготовления магнитных усилителей, трансформаторов слабого тока, катушек индуктивности, применяемых в аппаратуре связи и автоматике, в

производстве магнитопроводов и трансформаторов промышленной и звуковой частот используют высоконикелевые пермаллои.

Ферриты тоже применяют в качестве магнитно-мягких материалов. В результате спекания смеси порошков ферромагнитного оксида железа и оксидов никеля, магния, цинка и некоторых других металлов получают магнитно-мягкие ферриты.

Ферриты обладают очень большим удельным электрическим сопротивлением, и от этого их используют в устройствах, работающих при высоких и сверхвысоких частотах - это автоматика, радиоэлектроника, связь. В этих же областях используют алсифер – магнитно-мягкий материал - сплав железа, кремния и алюминия, перминвар – сплав железа, кобальта и никеля, и др.

По сравнению с магнитно-мягкими материалами магнитно-твердые материалы располагают большими значениями коэрцитивной силы и остаточной индукции, тем самым позволяя их широко применять для изготовления постоянных магнитов.

На данный момент производятся магнитно-твердые материалы многих видов и марок. К ним относятся стали, легированные кобальтом, вольфрамом или хромом, сплавы из железа, алюминия и никеля, металлокерамические материалы (магнитно-твердые ферриты, обретаемые прессованием порошкообразных компонентов с использованием кобальта или бария); их использование широко применяется в телефонии, приборостроении, электромашиностроении, связи, а также в других отраслях промышленности.

4.9. Вспомогательные электротехнические материалы и конструкционные изделия

К вспомогательным электротехническим материалам относятся в первую очередь припои и клеевые соединения. Нецелесообразный выбор материала

может повлечь плохое качество проводниковых соединений, излишний расход электроэнергии и припоя. Для рационального выбора соответствующие материалы необходимо знать технологию пайки, клеевых соединений, сварки.

В основе пайки металлов лежит использование закономерностей плавления, окисления и отвердевания металлов. С помощью паяльника металлы нагревают, расплавляют припой и пайкой соединяют. Необходимо обеспечивать Нужно выдерживать температуру плавления припоя ниже температуры плавления соединяемых пайкой металлов. При помощи припоя нужно снять имеющуюся на их поверхности пленку оксида для прочного и надёжного соединения металлов, с этой целью используют флюсы. Для осуществления пайки, таким образом, требуются два основных материала – флюс и припой различных свойства и марок. Припои – это сплавы, которые бывают тугоплавкими или легкоплавкими в зависимости от составляющих их металлов,с температурой плавления не меньше 500°С. Мягкими называют легкоплавкие припои, тугоплавкими – твердые припои.

Главные характеристики более распространенных припоев приведены в таблице 5

Основные характеристики припоев некоторых марок

Марка припоя	Составляющие элементы и их содержание, %	Температура плавления °С	Наименование соединяемых металлов
	Мягкие припои		
ПОС - 10	Олово - 10 Свинец - 90	299	Медь, латунь, бронза
ПОС - 40	Олово - 40 Свинец - 58 Сурьма - 2	238	То же
ПОССу35-05	Олово - 34 - 36 Сурьма - 0,2 - 0,5 Свинец - остальное	245	Медные жилы кабеля
ПОССу40-0,5	Олово - 39 - 41 Сурьма - 0,2 - 0,5 Свинец - остальное	235	Медные обмотки электрических машин
ПОСК - 50-18	Олово - 49 - 51 Кадмий - 17 - 19 Свинец - остальное	145	Токоведущие детали приборов, конденсаторов, чувствительные к перегреву
П300	Цинк - 60 Кадмий - 40	300	Токоведущие части из алюминия и его сплавов
Л170А	Олово - 80 Серебро - 1 Кадмий - 19	175	Соединения алюминия с медью
	Твёрдые припои		
А	Олово - 40 Цинк - 58,5 Медь - 1,5	400 - 425	Алюминий
ЦА -15	Цинк - 85 Алюминий - 15	500 - 550	То же
ЦО - 12	Олово - 12 Цинк - 88	500 - 550	То же
ПМЦ - 54	Медь - 54 Цинк - 46	880	Детали из меди, латуни, бронзы, стали (швы получаются хрупкие)
ЛОК - 62-06-04	Медь - 63 Олово - 0,4 Кремний - 0,4 Цинк - остальное	905	То же, но швы обладают большой механической прочностью

Для пайки мягкими припоями деталей из латуни, бронзы, меди применяют флюсы, изготовленные на основе канифоли с добавлением глицерина (марка ГК), этилового спирта (марка КЭ) и ряда других материалов, таких как хлорид, стеарин, цинк, вазелин. Для пайки частей из алюминия, а также его сплавов мягкими припоями применяют флюс марки ФВ-3, состоящий из фторида натрия (8%), хлорида лития (36%) хлорида цинка (16%) и хлорида калия (40%).

В состав флюсов используемых для пайки твердыми припоями, в определенном соотношении входят бура, борная кислота, цинка, лития, хлориды натрия, калия. Использовать и приготавливать такие флюсы можно лишь по специальному указанию специалиста.

Нередко во многих отраслях промышленности – авиационной, судостроительной, автомобильной, радиотехнической и электротехнической, деревообрабатывающей, химической и др. – сварные, заклепочные, болтовые и другие соединения деталей всё чаще находят замену клеевыми соединениями. По своей надежности они ничем не уступают, а в большинстве случаев и превосходят соединения другими способами. Основное в них заключается в том, что соединения на клею не имеют разрушения под воздействием явлений атмосферы, противостоят коррозии. В большинстве случаев используются синтетические клеи.

Такой способ соединения нередко бывает проще, а также дешевле по сравнению со сваркой и пайкой, а производительность труда при этом намного выше.

5. Электрические машины.

Электрические машины по назначению подразделяют на следующие виды:

- *электромашинные генераторы,* преобразующие механическую энергию в электрическую. Их устанавливают на электрических станциях и различных транспортных установках: автомобилях, самолетах, тепловозах, кораблях, передвижных электростанциях и др. На электростанциях они приводятся во вращение с помощью мощных паровых и гидравлических турбин, а на транспортных установках - от двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. В ряде случаев генераторы используют в качестве источников питания в установках связи, устройствах автоматики, измерительной техники и пр.;
- *-электрические двигатели,* преобразующие электрическую энергию в механическую; они приводят во вращение различные машины, механизмы и

устройства, применяемые в промышленности, сельском хозяйстве, связи, на транспорте, в военном деле и быту. В современных системах автоматического управления их используют в качестве исполнительных, регулирующих и программирующих органов;

- *электромашинные преобразователи,* преобразующие переменный ток в постоянный и, наоборот, изменяющие величину напряжения переменного и постоянного тока, частоту, число фаз и др. Их широко используют в промышленности, на транспорте и в военном деле, хотя в последнее десятилетие роль электромашинных преобразователей существенно уменьшилась вследствие применения статических полупроводниковых преобразователей;

- *электромашинные компенсаторы,* осуществляющие генерирование реактивной мощности в электрических установках для улучшения энергетических показателей источников и приемников электрической энергии;

- *электромашинные усилители,* используемые для управления объектами относительно большой мощности посредством электрических сигналов малой мощности, подаваемых на их обмотки возбуждения (управления). Роль электромашинных усилителей в последнее время также уменьшилась из-за широкого применения усилителей, выполненных на полупроводниковых элементах (транзисторах, тиристорах);

- *электромеханические преобразователи сигналов,* генерирующие, преобразующие и усиливающие различные сигналы. Их выполняют обычно в виде электрических микромашин и широко используют в системах автоматического регулирования, измерительных и счетно-решающих устройствах в качестве различных датчиков, дифференцирующих и интегрирующих элементов, сравнивающих и регулирующих органов и др.

5.1. Классификация электрических машин по роду тока и принципу действия.

Электрические машины по роду тока делят на машины переменного и постоянного тока. Машины переменного тока в зависимости от принципа действия и особенностей электромагнитной системы подразделяют на трансформаторы, асинхронные, синхронные и коллекторные машины.

Трансформаторы широко применяют для преобразования напряжения: в системах передачи и распределения электрической энергии, в выпрямительных установках, устройствах связи, автоматики и вычислительной техники, а также при электрических измерениях (измерительные трансформаторы) и функциональных преобразованиях (вращающиеся трансформаторы).

Асинхронные машины используют главным образом в качестве электрических двигателей трехфазного тока. Простота устройства и высокая надежность позволяют применять их в различных отраслях техники для привода станков, грузоподъемных и землеройных машин, компрессоров, вентиляторов и пр. В системах автоматического регулирования широко используют одно- и двухфазные управляемые асинхронные двигатели, асинхронные тахогенераторы, а также сельсины.

Синхронные машины применяют в качестве генераторов переменного тока промышленной частоты на электрических станциях и генераторов повышенной частоты в автономных источниках питания (на кораблях, самолетах и т. п.). В электрических приводах большой мощности применяют также синхронные электродвигатели. В устройствах автоматики широко используют различные синхронные машины малой мощности (реактивные, с постоянными магнитами, гистерезисные, шаговые, индукторные и пр.).

Коллекторные машины переменного тока используют сравнительно редко и главным образом в качестве электродвигателей. Они имеют сложную конструкцию и требуют тщательного ухода. В устройствах автоматики, а также

в различного рода электробытовых приборах применяют универсальные коллекторные двигатели, работающие как на постоянном, так и на переменном токе.

Машины постоянного тока применяют в качестве генераторов и электродвигателей в устройствах электропривода, требующих регулирования частоты вращения в широких пределах: железнодорожный и морской транспорт, прокатные станы, электротрансмиссии большегрузных автомобилей, грузоподъемные и землеройные машины, сложные металлообрабатывающие станки и пр., а также в тех случаях, когда источниками электрической энергии для питания электродвигателей служат аккумуляторные батареи (стартерные двигатели, двигатели подводных лодок, космических кораблей и т. п.).

Генераторы постоянного тока часто применяют для питания устройств связи, зарядки аккумуляторных батарей, в качестве основных источников питания на транспортных установках (автомобилях, самолетах, тепловозах, пассажирских вагонах). Однако в последнее время генераторы постоянного тока заменяются генераторами переменного тока, работающими совместно с полупроводниковыми выпрямителями.

В системах автоматического регулирования машины постоянного тока широко используют в качестве электромашинных усилителей, исполнительных двигателей и тахогенераторов.

В зависимости от назначения электрические микромашины автоматических устройств подразделяются на следующие группы:

-*силовые микродвигатели,* приводящие во вращение различные механизмы автоматических устройств, самопишущих приборов и пр.;

-*управляемые (исполнительные) двигатели,* преобразующие подводимый к ним электрический сигнал в механическое перемещение вала, т. е. отрабатывающие определенные команды;

-тахогенераторы, преобразующие механическое вращение вала в электрический сигнал - напряжение, пропорциональное частоте вращения вала;

-вращающиеся трансформаторы, дающие на выходе напряжение, пропорциональное той или иной функции угла поворота ротора, например синусу или косинусу этого угла или самому углу;

-машины синхронной связи (сельсины, магнесины), осуществляющие синхронный и синфазный поворот или вращениенескольких механически не связанных между собой осей;

-микромашины гироскопических приборов (гироскопические двигатели, датчики угла, датчики момента), осуществляющие вращение роторов гироскопов **с** высокой частотой и коррекцию их положения;

-электромашинные преобразователи и усилители.

Электрические микромашины первых двух групп часто называют *силовыми,* а третьей - пятой групп - *информационными.*

5.2. Классификация электрических машин по мощности.

Электрические машины по мощности условно подразделяют на микромашины, машины малой, средней и большой мощности.

Микромашины имеют мощность от долей ватта до 500 Вт. Эти машины работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной (400 - 2000 Гц) частоты.

Машины малой мощности - от 0,5 до 10 кВт. Они работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной или повышенной частоты.

Машины средней мощности - от 10 кВт до нескольких сотен киловатт.

Машины большой мощности - свыше нескольких сотен киловатт. Машины большой и средней мощности обычно предназначают для работы на постоянном или переменном токе нормальной частоты.

5.3. Классификация электрических машин по частоте вращения.

Электрические машины по частоте вращения условно подразделяют на: *тихоходные* - **с** частотами вращения до 300 об/мин; *средней быстроходности* - 300-1500 об/мин; *быстроходные* - 1500 - 6000 об/мин; *сверхбыстроходные* - свыше 6000 об/мин. Микромашины используют для частот вращения от нескольких оборотов в минуту до 60000 об/мин; машины большой и средней мощности - обычно до 3000 об/мин.

5.4. Электрическая аппаратура

К электрической аппаратуре относятся рубильники, переключатели, реостаты, магнитные пускатели и т. д. Такая аппаратура упрощает и облегчает работу людей, управляющих электрическими машинами.

Рубильники. Их применяют для включения и выключения электрических установок с напряжением до 500 *в* и силой тока до 6 *а.*

Рубильники бывают однополюсные, двухполюсные и трехполюсные. Основными частями рубильников являются медные ножи, поворачивающиеся на осях для соединения с пружинящими контактами, к зажимам которых подключены провода от электрической сети.

Переключатели. Так называют рубильники, имеющие верхние и нижние пружинящие контакты, которые можно соединять с ножами. Для безопасного включения и выключения электрических установок переключатели закрываются защитными кожухами.

Реостаты. Это приборы, позволяющие изменять сопротивление электрической сети. Реостаты делятся на пусковые и регулирующие.

Пусковые реостаты предназначаются для ограничения тока во время пуска электрических двигателей. Регулирующие реостаты служат для регулирования тока или напряжения в цепи, в которую они включены. К регулирующим реостатам относятся реостаты, предназначенные для регулирования тока

возбуждения электрических машин с целью регулирования напряжения генераторов и скорости вращения электродвигателей.

Реостаты бывают металлические и жидкостные. Наиболее часто применяют проволочные реостаты с плавным и со ступенчатым изменением сопротивления. Реостат с плавным изменением сопротивления изготовляют со скользящим контактом. Такой реостат представляет собой цилиндр, сделанный из изоляционного материала. На цилиндр намотана проволока, обладающая высоким удельным сопротивлением. Ее концы присоединяются к зажимам. Если один из проводов электрической сети подключен к движку, а другой - к одному из концов проволоки, то сопротивление реостата будет зависеть от положения движка.

Магнитные пускатели. Эти приборы наиболее широко применяют для дистанционного управления электрическими двигателями трехфазного переменного тока. Основной частью пускателей является контактор, имеющий встроенное термическое реле *(ТР),* которое защищает двигатель от перегрузок. Кнопки для включения *(КП* и отключения *(КО)*расположены в месте, удобном для управления двигателем. Все элементы магнитного пускателя монтируют на панели, сделанной из изоляционного материала. Панель помещают в стальной ящик, который после подключения контактов к сети и двигателю закрывают крышкой. Магнитные пускатели изготовляют для двигателей, мощностью не более 75 *квт* при напряжении не более 500 *в.*

Реле. Это приборы и автоматы, реагирующие на изменение тока, напряжения, мощности и т. д. Они широко применяются в автоматике и телемеханике.

Предохранители. Они предназначены для защиты проводов и приемников электрической энергии от теплового действия тока при перегрузках и коротких замыканиях. Предохранители разделяются на пробочные, пластинчатые, применяемые в установках с напряжением до

500 *в*, и трубчатые, используемые для больших напряжений. Предохранители включают в электрические цепи последовательно. Если через предохранитель проходит электрический ток, превышающий допустимую величину, то предохранитель плавится и размыкает цепь, в которую включен, раньше, чем успеют нагреться провода и аппаратура. При выборе предохранителей для электрической цепи, в которую включаются электродвигатели, учитывают величину пускового тока, превышающего рабочий ток примерно в 5-7 раз.

Заземление и электрическая защита. При повреждении изоляции в электрических машинах, трансформаторах, выключателях нетоковедущие металлические части оборудования оказываются под напряжением относительно земли. При соприкосновении с таким оборудованием люди подвергаются поражению током. Токи 0,05 *а* и более опасны для жизни человека, а токи от 0,1 а и более - смертельны. Для предупреждения несчастных случаев применяют заземление или зануление. Защитное заземление используют для снижения напряжения заземленных частей оборудования до безопасного значения. Оборудование заземляют следующим образом: к корпусу двигателей присоединяют стальную полосу, приваренную к очагу заземления. Очаг заземления состоит из стальных труб или стержней, забитых в землю на глубину 2-3 *м* и сваренных между собой стальными прутьями.

В четырехпроводных установках трехфазного тока напряжением 380/220 и 220/127 *в* с наглухо заземленной нейтралью вместо защитного заземления применяют защитное зануление, т. е. присоединение оборудования к нулевому проводу. Цель защитного зануления- получить при пробое изоляции в поврежденной фазе ток такой величины, который необходим для перегорания плавкого предохранителя, срабатывания защиты (реле, автомата) и отключения поврежденного участка.

6. Производство и распределение электрической энергии

6.1. Электрические станции

Электрической станцией (электростанцией) называется совокупность устройств и оборудования, используемых для производства электрической энергии. На электростанциях электрическую энергию получают благодаря использованию энергоносителей или преобразованию различных видов энергии. Электростанции по виду используемой в них энергии подразделяются на тепловые, атомные и гидроэлектрические.

В тепловых электростанциях в топках котлов сжигается уголь, нефть или природный газ. Получаемая при этом теплота превращает находящуюся в котлах воду в пар, приводящий во вращение роторы паровых турбин и соединенные с ними роторы генераторов, в которых механическая энергия турбин преобразуется в электрическую.

На атомных электростанциях процессы преобразования энергии пара в механическую, а затем в электрическую энергию аналогичны процессам, происходящим в тепловых электростанциях, и отличаются от последних тем, что в них «топливом» служат радиоактивные элементы или их изотопы, выделяющие теплоту в процессе реакции распада

На гидроэлектростанциях энергия потока воды превращается в электрическую энергию. Существуют также ветро-, гелиоэлектростанции, геотермальные, приливные и другие электростанции, преобразующие в электрическую энергию соответственно перемещающиеся потоки воздуха, тепло солнечных лучей и недр Земли, энергию морских и океанических приливов.

Паротурбинные тепловые электростанции подразделяют на конденсационные и теплофикационные. На конденсационных станциях тепловая энергия полностью преобразуется в электрическую, а на

теплофикационных, называемых теплоэлектроцентралями (ТЭЦ), тепловая энергия частично превращается в электрическую, а в основном расходуется на снабжение промышленных предприятий и городов паром и горячей водой. Поэтому ТЭЦ сооружают вблизи потребителей тепловой энергии. Конденсационные паротурбинные электростанции, как правило, строят недалеко от места добычи твердого топлива — угля, торфа, горючих сланцев. При строительстве гидроэлектростанций (ГЭС) решается комплекс задач, связанных не только с выработкой электрической энергии и снабжением ею потребителей, но и с улучшением судоходства рек, орошения засушливых земель, водоснабжения и др.

Сооружение атомных электростанций (АЭС) особенно целесообразно в районах, где нет запасов местного топлива и рек с большими гидроэнергетическими ресурсами. Они работают на ядерном горючем, которое потребляется в незначительных количествах, поэтому его доставка на электростанцию не вызывает больших транспортных затрат.

Передача энергии, выработанной мощными ГЭС, ТЭЦ и АЭС в электросеть для снабжения потребителей, как правило, осуществляется по линиям высокого напряжения (110 кВ и выше) через повысительные трансформаторные подстанции. Для рационального распределения нагрузки между электростанциями, наиболее экономичной выработки электрической энергии, лучшего использования установленной мощности станций, повышения надежности электроснабжения потребителей и отпуска им электрической энергии с нормальными качественными показателями по частоте и напряжению широко осуществляется параллельная работа электростанций на общую электрическую сеть районной энергетической системы. В ее состав кроме электростанций входят также линии электропередачи различных напряжений, сетевые трансформаторные подстанции и тепловые сети,

связанные общностью режима производства и распределения электрической и тепловой энергии.

6.2. Электрические сети

Для передачи и распределения электрической энергии от центров питания электростанций к потребителям служат электрические сети, которые состоят из распределительных устройств (РУ) и воздушных или кабельных линий различных напряжений.

Центром питания (ЦП) называется распределительное устройство генераторного напряжения электростанций или РУ вторичного напряжения понизительной подстанции энергосистемы, к которому присоединены распределительные сети данного района.

Электрические сети могут быть постоянного и переменного тока. К сетям постоянного тока в основном относятся сети электрифицированных железных дорог, метрополитена, трамвая, троллейбуса, а также некоторые электрические сети химических, металлургических и других промышленных предприятий. Электроснабжение всех остальных объектов промышленности, сельского хозяйства, коммунального и бытового назначения ведется трехфазным переменным током частотой 50 Гц.

Электрическая энергия, вырабатываемая турбогенераторами и гидрогенераторами, имеет напряжения 6000 или 10000 В, а иногда 20000 В. Электрическую энергию такого напряжения передавать на большие расстояния экономически нецелесообразно из-за значительных электрических потерь. Поэтому ее повышают до 110, 220 и 500 кВ на повысительных трансформаторных подстанциях, сооружаемых при электростанциях, а затем перед поступлением потребителям понижают до 35, 10 и 6 кВ на понизительных трансформаторных подстанциях.

Упрощенная схема распределения энергии от электростанций до потребителей приведена на рис. 12. Из приведенной схемы видно, что

электростанции А, Б, В, Г и Д объединены линиями электропередачи (ЛЭП) напряжением 220 кВ. Передача и распределение электрической энергии осуществляются на напряжениях 220, 110, 35 и 10 кВ. В схеме электроснабжения предусматривается резервирование подстанций на всех уровнях напряжений, что позволяет избежать перебоев в подаче электрической энергии.

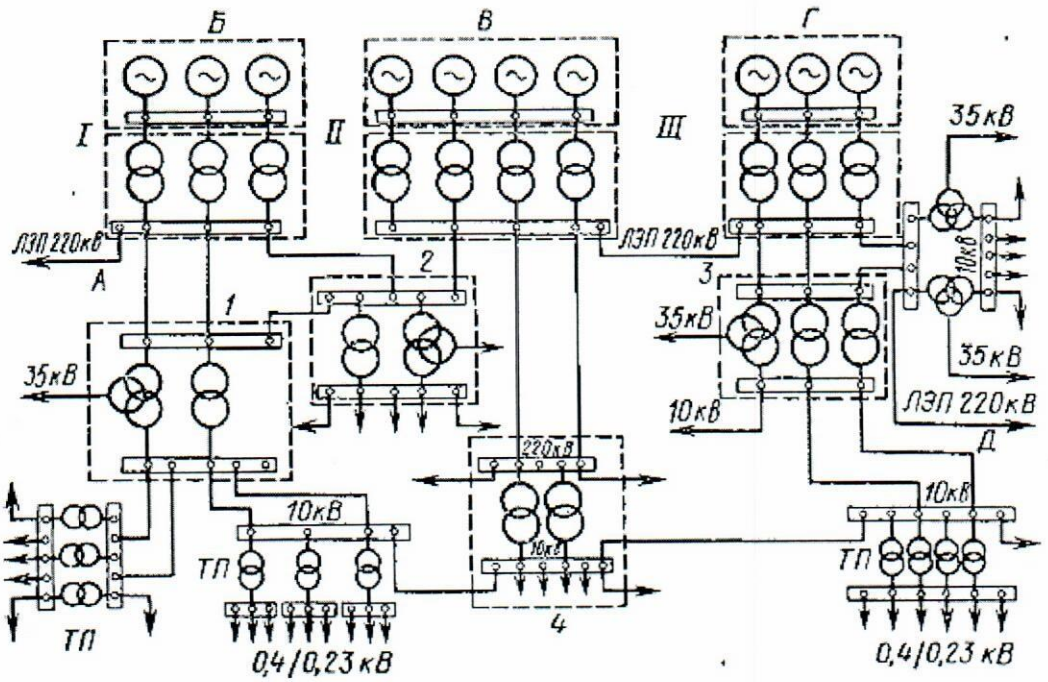

Рис 12. Схема энергосистемы:

А — Д — электростанции, ТП — трансформаторные подстанции, I—III— повышающие подстанции, 1—4 — понижающие подстанции

От РУ понижающих подстанций отходят для передачи электрической энергии потребителям воздушные или кабельные линии. Большинство промышленных предприятий получают энергию от энергетических систем и лишь в редких случаях от собственных заводских электростанций. Электроснабжение и распределение энергии в пределах предприятия от

собственных электростанций производится в основном на генераторном напряжении 6 и 10 кВ.

Схема электроснабжения и распределения энергии зависит от расстояния между предприятием и источником питания, потребляемой мощности, территориального размещения нагрузок, требований надежного и бесперебойного питания электроприемников, а также от числа приемных и распределительных пунктов на предприятии.

Наличие больших нагрузок, сосредоточенных на определенных участках промышленных предприятий и в отдельных районах крупных городов, ускоряет внедрение в систему электроснабжения глубоких вводов высокого напряжения (глубокий ввод — это канализация высокого напряжения от энергосистемы непосредственно к центру нагрузок). Благодаря этому значительно сокращаются кабельные распределительные сети и экономится кабельная продукция. Глубокие вводы сооружают, как правило, воздушными линиями на напряжения 35, 110, 220 и 330 кВ.

Электрические сети делятся: на нерезервируемые, когда электроприемники получают электрическую энергию от одного источника питания, и резервируемые, когда электроснабжение ведется от двух или более источников питания. Производство, передача и распределение электрической энергии сопровождаются потерями ее во всех элементах сети; кабельных и воздушных линиях, трансформаторах, высоковольтных аппаратах и др.

Общие потери электрической энергии, включая расходы на собственные нужды, доходят до 10%, из них наибольшие потери приходятся на питающие сети от центров питания до распределительных пунктов. Для снижения потерь электрической энергии и определения участков и элементов сети с наибольшими потерями производят измерения, расчеты и оценки

рационального построения и эксплуатации сети. На основании этих данных принимают меры для снижения потерь электрической энергии, которые в основном сводятся к переводу сети на повышенное напряжение (если это экономически целесообразно), отключению малозагруженных трансформаторов в период минимальных нагрузок.

6.3. Потребители электрической энергии

Основными характеристиками потребителей электрической энергии являются: расчетная нагрузка, режим работы установки, надежность электроснабжения. По расчетной нагрузке и режиму работы потребителя определяются мощности питающих трансформаторов, сечения кабельных и воздушных линий.

По обеспечению надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории.

К первой категории относятся электроприемники, нарушение электроснабжения которых влечет за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение режима работы особо важных объектов (доменных и мартеновских печей, некоторых цехов химических предприятий, электрифицированных железных дорог, метро).

К второй категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной работы значительного количества городских предприятий (швейные и обувные фабрики) и электротранспорта.

К третьей категории относятся электроприемники, не входящие в первую и вторую категории. Перерыв в электроснабжении электроприемников первой

категории может быть допущен лишь на время автоматического ввода аварийного питания, второй категории — на время, необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой, и для приемников третьей категории — на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более суток.

В соответствии с указанными требованиями надежности электроснабжения питание электроприемников первой и второй категорий осуществляется от двух независимых источников, а третьей — от одной питающей линии без обязательного резервирования.

Электроснабжение промышленных предприятий и городов производится через РУ и подстанции, максимально приближенные к потребителям.

Распределительным устройством (РУ) называется электроустановка, служащая для приема и распределения электрической энергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы. Распределительные устройства сооружают открытого исполнения (ОРУ), когда основное оборудование расположено на открытом воздухе, и закрытого (ЗРУ), когда оборудование расположено в здании.

Электроустановка, служащая для преобразования и распределения электрической энергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, РУ, устройств управления и вспомогательных сооружений, называется подстанцией. В зависимости от преобладания той или иной функции подстанций они называются трансформаторными (ТП) или преобразовательными.

Распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электрической энергии на одном напряжении без

преобразования и трансформации и не входящее в состав подстанции, называется распределительным пунктом (РП).

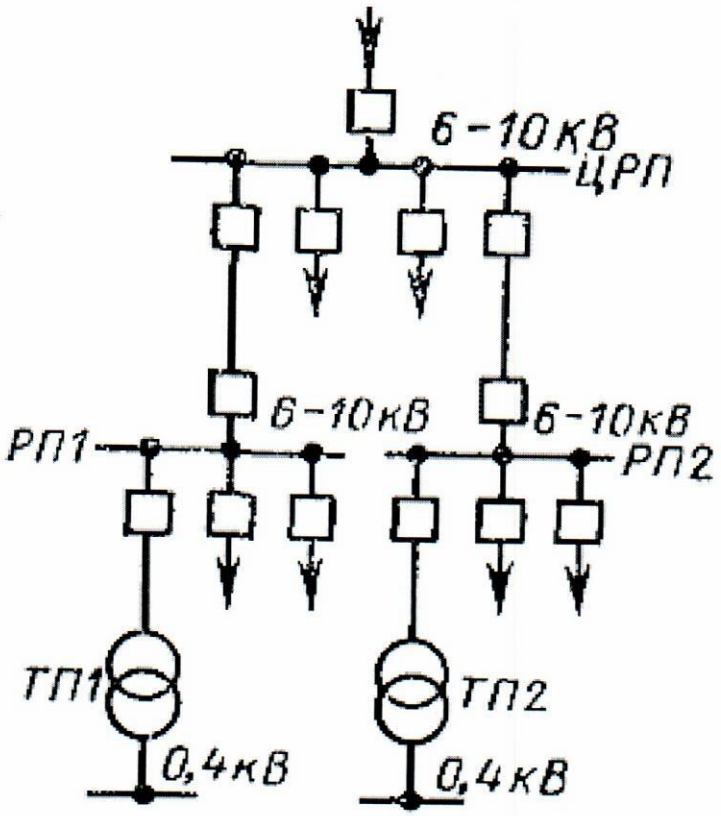

Рис. 13. Двухступенчатая радиальная схема питания: ЦРП — центральная распределительная подстанция, ТП1, РП2 — распределительные подстанции, ТП1, ТП2- трансформаторные подстанции

Для распределения электрической энергии при напряжении 6 и 10 кВ на предприятиях и в городах применяют два вида схем: радиальную (рис. 13) и магистральную (рис. 14). Эти схемы имеют много разновидностей, которые определяются главным образом категорией электроприемников, территориальным размещением и мощностью подстанций и пунктов приема энергии. Качество электрической энергии характеризуется постоянством частоты и стабильностью напряжения у потребителей в пределах

установленных норм. Частота задается электростанциями для всей энергосистемы в целом.

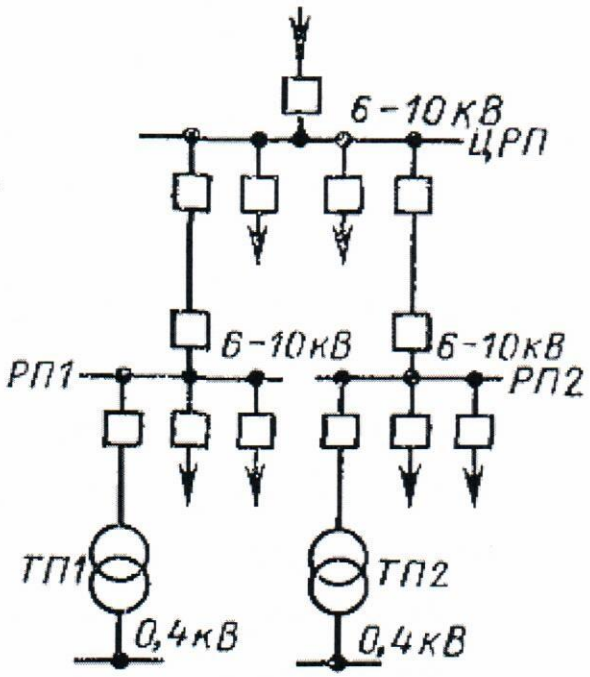

Рис. 14. Магистральные схемы: а — одиночная с односторонним питанием, б — кольцевая; РП — распределительная подстанция, ТП1 — ТП5 — трансформаторные подстанции.

6.4. Потребители электрической энергии по надёжности электроснабжения

По надёжности электроснабжения и важности электропотребителей, питающихся электроэнергией выделяют три категории: 1-я (очень важные электропотребители), 2-я (просто важные электропотребители) 3-я (все остальные электропотребители). Они определяются при проектировании, на основании нормативной документации (ПУЭ и других действующих нормативов) и технической части самого проекта.

К первой категории относятся такие виды электропотребителей, которые в результате своего простоя без электричества могут повлечь опасность для

жизни людей, безопасности государства, нанести большой материальный ущерб, поломку сложного и дорогого оборудования или нарушения сложного техпроцесса, работы сфер коммунального хозяйства. Проще говоря, всё то повлечет за собой очень серьезные последствия.

Как правило по первой категории электроснабжения запитаны ответственные потребители (противопожарные насосы, аварийное электроосвещение, пожарная и охраная сигнализации и т.д.).

В первую категорию так же входит особая группа электропотребителей, которая должна быть безостановочной в силу возможности возникновения пожаров, взрывов и человеческих смертей. Электропотребители этой категории при нормальной работе, должны предусматривать два независимых резервируемых источника электропитания, у которых перерыв для возобновления электроснабжения при отключении одного из них, должен быть лишь на время автоматического переключения на второй. Как правило, для первой категории предусматриваются две независимые трансформаторные подстанции (ТП) либо ТП и ДГУ (дизель генератор), либо ТП и аккумуляторные батареи, расчитаные на определенное время работы как в режиме ожидания так и в режиме тревога. Автоматическое переключение потребителей первой категории на резервный ввод осуществляется с помощью устройства автоматического ввода резерва (АВР).

Для особой группы первой категории, должен предусматриваться также третий независимый источник, для увеличения общей надёжности. В роли третьего независимого источника для особой группы электропотребителей, могут использоваться различные аппараты бесперебойного электропитания, аккумуляторные батареи, дизель генераторы (ДГУ) и т.д. с использованием АВР на 3 ввода или двух АВР.

Вторая категория. К ней можно отнести электропотребители, что при внезапном отключении электроэнергии могут последовать массовое возникновение брака или недоотпуска продукции, длительный простой

рабочих, оборудования, техпроцесса, общее нарушению обычной жизнедеятельности большого количества городского и сельского населения.
Она должна при нормальной своей работе, обеспечить электроснабжение, так же от двух независимых резервирующих источников электропитания, но допускается некоторое время на переключение (например, время за которое дежурный электрик зайдет в щитовую и переключит рубильник на второй ввод). Для электропотребителей второй категории при возникновении проблем с электропитанием на одном из источников, допускается время простоя до восстановления электроснабжения, в промежутке, пока дежурныё персонал или выездная бригада не произведёт необходимое переключение и восстановит поступление электроснабжение. Для электроснабжения по второй категории необходимы два независимых источника электропитания, но в отличии от потребителей первой категории, переключение на резервный ввод осуществляется вручную (без устройства ввода резерва АВР). Большинство электропотребителей проектируемых административных зданий относятся ко второй категории электроснабжения.

Третья категория. Это категория, в которую не вошли электропотребители первой и второй категории. Для неё допускается осуществления электроснабжения от одного источника, притом условии, что на восстановление электропитания после поломки потребуется не более одних суток. Например, для обеспечения электропотребителей третей категории можно использовать однотрансформаторную КТП. Тут можно узнать больше о проектировании трансформаторных подстанций 10(6)/0,4кВ.
Стоит заметить то, что увеличение важности категории, напрямую влияет на саму стоимость его осуществления, поскольку это влечёт установку большего количества дополнительного оборудования и в итоге общего усложнение всей системы электропотребителя. Но с другой стороны на тех объектах, где

действительно очень важна надёжность, в силу особых обстоятельств, то такое усложнение и резервирование, играет ключевую роль, во избежание более худших последствий при возникновении перебоя с электрообеспечением.

7. Заземление электроустановок.

Электрический ток при прохождении через тело человека может вызвать тяжелые травмы, а в некоторых случаях — смерть.

Установлено, что для человека ток 15 — 25мА является опасным, а более 50мА при длительном его прохождении через тело человека может вызвать смерть. Поражение человека электрическим током возможно при соприкосновении его с теми частями электроустановок, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции одной фазы. В этих случаях, чтобы ***защитить обслуживающий персонал от потенциалов опасной величины, выполняют защитные заземления***, то есть все части установки, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие оказаться под напряжением при повреждении-изоляции фазы, соединяют проводниками с землей.

Заземлитель представляет собой металлический проводник или группу проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей. Металлические проводники, соединяющие заземляемые части установки с заземлителем, называются заземляющими проводниками. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников называют заземляющим устройством, а преднамеренное электрическое соединение части электроустановки с заземляющим устройством — заземлением.

Заземляют следующие металлические части электроустановок:

1. корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п,
2. приводы электрических аппаратов,

3. вторичные обмотки измерительных трансформаторов,
4. каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитов и шкафов,
5. конструкции распределительных устройств,
6. кабельные конструкции,
7. корпуса кабельных муфт,
8. оболочки и брони силовых и контрольных кабелей и проводов,
9. стальные трубы электропроводки и т. п.

На воздушных линиях напряжением 6 — 10кВ заземляют железобетонные и металлические опоры, расположенные в населенных местностях, а также каркасы и корпуса электрооборудования (разъединителей, предохранителей, разрядников), установленного на деревянных, железобетонных или металлических опорах.

Не заземляют:

1. оборудование, установленное на заземленных металлических конструкциях (на опорных поверхностях должны быть зачищенные и незакрашенные места для обеспечения электрического контакта);
2. корпуса электроизмерительных приборов, реле, установленных на щитах, в шкафах, а также на стенах камер распределительных устройств;
3. съемные или открывающиеся части ограждений, шкафов и камер распределительных устройств, установленных на металлических заземленных каркасах.

Для **заземления электроустановок различных напряжений** используют общее заземляющее устройство.

7.1 Требования к заземляющим устройствам

При повреждении оборудования, например опорного изолятора выключателя ВМГ, происходит перекрытие одной из фаз на раму выключателя, соединенную стальной полосой с трубой, забитой в землю. **Ток замыкания на**

землю будет протекать с поврежденной фазы на раму выключателя и через трубу в землю (рисунок 15).

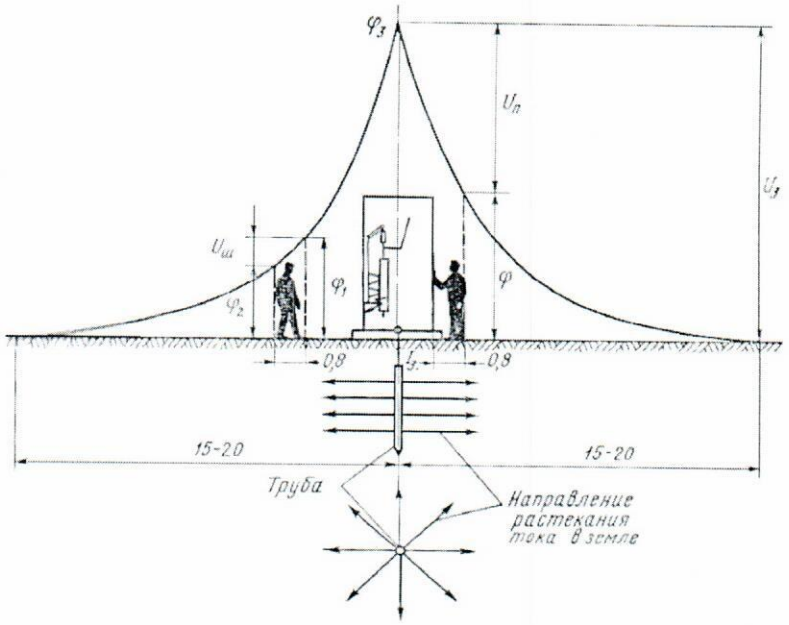

Рис. 15. Растекание тока заземления при одном заземлителе и распределение потенциала на поверхности земли

При однородном грунте ток растекается во все стороны равномерно. Объем земли, в котором растекается ток, по мере удаления от трубы увеличивается, а плотность тока уменьшается. Так как плотность тока у поверхности трубы наибольшая, то падение напряжения в земле у поверхности трубы также наибольшее. По мере удаления от трубы падение напряжения на единицу длины уменьшается.

Если вольтметром измерить разность потенциалов на поверхности земли при разных расстояниях от трубы и результаты нанести на диаграмму, то получатся кривые, указанные на рисунке 15. Наивысший потенциал имеет труба ($ф_з$ — потенциал заземлителя). Если пренебречь потерей напряжения в заземляющих проводниках, то такой же потенциал будет и на раме выключателя. Вблизи

трубы потенциал упадет очень резко, а на расстоянии 15 — 20 метров от трубы он будет настолько незначителен, что его можно принять равным нулю. Точки нулевого потенциала называют **землей в электротехническом смысле**.

Сопротивление заземлителя растеканию тока представляет собой не сопротивление контакта между заземлителем и почвой (оно незначительно), а сопротивление почвы между заземлителем и поверхностью с нулевым потенциалом.

Сопротивление заземляющего устройства складывается из сопротивления заземлителя и сопротивления заземляющих проводников. Если не учитывать малое сопротивление заземляющих проводников, то сопротивление заземляющего устройства

$$R_з = \frac{U_з}{I_з}$$

где $U_з$ — напряжение заземления по отношению к земле, $I_з$ — ток замыкания на землю.

Когда человек касается рукой кожуха аппарата с поврежденной изоляцией одной из фаз, например, рамы выключателя, показанного на рисунке 15, то напряжение между рукой и ногами человека

$$U_п = \varphi_з - \varphi$$

где $U_п$ — напряжение прикосновения, то есть напряжение между теми двумя точками цепи тока замыкания на землю , которых одновременно касается человек.

Если человек подходит к аппарату с поврежденной изоляцией одной из фаз, то напряжение между его ногами

$$U_ш = \varphi_1 - \varphi_2$$

где $U_ш$ — напряжение шага, величину его принимают равной 0,8 метра.

При устройстве заземлений стремятся, чтобы $U_п$ и $U_ш$ были возможно меньшими, что уменьшает опасность поражения. Правила устройства

электроустановок устанавливаютдопустимые **величины сопротивлений заземляющих устройств**.

В электроустановках напряжением выше 1000В с большими токами замыкания на землю (более 500А) при всех замыканиях на землю срабатывает соответствующая релейная защита, отключающая поврежденную часть установки. Поэтому в таких установках потенциал на заземляющих устройствах может появиться лишь кратковременно и маловероятно, чтобы в этот момент персонал прикоснулся к частям установки, оказавшимся под напряжением, равным $U_з$. Для указанных установок согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом, а допустимая величина $U_з$ не устанавливается.

В электроустановках напряжением выше 1000В с малыми токами замыкания на землю, в которых нейтрали не заземлены или заземлены через большое сопротивление, при замыкании на землю отключения поврежденного участка не произойдет, вследствие чего заземляющее устройство будет длительно находиться под напряжением $U_з$ и увеличится вероятность прикосновения обслуживающего персонала к частям установки, оказавшимся под напряжением $U_з$. При использовании заземляющего устройства одновременно для заземления электроустановок напряжением до и выше 1000В напряжение заземления $U_з$ согласно ПУЭ не должно превышать 125В, а при использовании заземляющего устройства только для заземления электроустановок выше 1000В напряжение $U_з$ не должно превышать 250В.

Таким образом, **сопротивление заземляющего устройства** в установке напряжением выше 1000В с малыми токами замыкания на землю, если заземляющее устройство используется также для электроустановок напряжением до 1000В.

$$R_з \leqslant \frac{125}{I_з}$$

где $I_з$ — расчетный ток замыкания на землю.

Если заземляющее устройство используется только для электроустановок выше 1000В, то

$$R_з \leq \frac{250}{I_з}$$

В сетях с компенсацией емкостных токов расчетным током является остаточный ток замыкания на землю, который может возникнуть в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов, но не менее 30А. В обоих рассмотренных случаях $R_з$ не должно превышать 10 Ом.

В электроустановках до 1000В с малыми токами замыкания на землю $R_з$ должно быть не более 4 Ом, а в тех же установках, но присоединенных к трансформаторам и генераторам общей мощностью не более 100кВА, — не более 10 Ом.

Сопротивление заземляющих устройств опор воздушных линий напряжением выше 1000В в зависимости от удельного сопротивления грунта допускается 10 — 30 Ом.

7.2. Заземлители и заземляющие проводники

Заземлители могут быть естественные и искусственные. **Естественными заземлителями**являются: металлические конструкции зданий и сооружений, соединенные с землей, проложенные в земле металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей и горючих газов); свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, если их не менее двух.

В том случае, когда **сопротивление заземляющего устройства** при использовании естественных заземлителей будет удовлетворять требованиям ПУЭ, устраивать дополнительное искусственное заземление не требуется.

В качестве искусственных заземлителей применяют вертикально забитые стальные трубы с толщиной стенок не менее 3,5 мм, угловую сталь, стальные

стержни диаметром не менее 6 мм, горизонтально проложенные стальные полосы толщиной не менее 4 мм и общим сечением не менее 48 мм^2 и т. п.

Сопротивление заземления заземлителей определяется в основном удельным сопротивлением грунта, размером и формой заземлителя, глубиной заложения его в грунте.

Удельное сопротивление грунта зависит от его состава, плотности, влажности и температуры и колеблется от 0,3 х 10^4 до 1.3 х 10^4 Ом на сантиметр.

Внутреннюю сеть заземления в помещениях РУ выполняют в виде магистрали заземления и ответвлений от них к отдельным корпусам аппаратов. *Последовательное присоединение заземляющих корпусов электрооборудовании к магистрали заземления* не допускается.

Магистральную заземляющую шину соединяют с заземлителем не менее чем двумя ответвлениями, присоединяемыми к заземлителю и разных местах.

Магистральную заземляющую шину и ответвления к заземляемым частям прокладывают открыто. Открыто проложенные заземляющие проводники окрашивают в черный цвет. При окраске их в иной цвет в местах присоединений и ответвлений необходимо прочертить две полосы черного цвета на расстоянии 150 мм друг от друга.

Сечения заземляющих проводников выбирают из расчета, чтобы при протекании токов однофазных замыканий на землю температура заземляющих проводников в установках выше 1000В с большими токами замыкания на землю не превышала 400°С, в установках до и выше 1000 В с малыми токами сечение заземляющих проводников выбирают не менее 1/3 сечения фазных проводников, но не менее, указанных в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников.

Место прокладки заземлителей и заземляющих проводников	**Диаметр круглых проводников и заземлителей, мм**	**Прямоугольные проводники и заземлители**		**Заземлители**	
		Сечение, $мм^2$	**Толщина, мм**	**Из угловой стали с толщиной полок, мм**	**Из стальных труб с толщиной стенок, мм**
В зданиях	5	24	3	2	1,5
В наружных установках	6	48	4	2,5	2,5
В земле	8	48	4	4	3,5

В электроустановках напряжением до 1000В применяют в качестве заземляющих проводников медные и алюминиевые проводники, минимальные сечения которых приведены в таблице ниже.

Таблица7 Минимальные сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000В

Наименование	**Сечение проводника, мм^2**	
	Медных	**Алюминиевых**
Голые проводники при открытой прокладке	4	6
Изолированные провода	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводовв общей защитной оболочке с фазными жилами	1	1,5

Заземляющие проводники соединяют друг с другом сваркой. К заземляемым конструкциям их присоединяют тоже сваркой, а к корпусам аппаратов, машин — сваркой или болтами. Пайкой присоединяют заземляющие проводники к металлическим оболочкам кабелей и проводов. Проходы **заземляющих проводников** сквозь стены и перекрытия выполняют в трубах, стальных обоймах или открытых проемах.

7.3. Установки с изолированной и глухозаземлённой нейтралью

Электроустановки могут быть с **глухозаземленной и изолированной**

нейтралью.

Глухозаземленной нейтралью называют нейтраль трансформатора или генератора, присоединенную к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (трансформаторы тока и др.), а **изолированной** — нейтраль, не присоединенную к заземляющему устройству или присоединенную через аппараты, компенсирующие емкостный ток в сети, и другие аппараты, имеющие большое сопротивление. Заземление нейтрали генератора или трансформатора называют рабочим заземлением в отличие от защитного заземления.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяются нейтрали генераторов или трансформаторов, должно быть не более 4 Ом для электроустановок напряжением 380/220В.

В электроустановках с глухозаземленной нейтралью при замыкании между фазой и заземляющими проводниками должно быть обеспечено быстрое и надежное автоматическое отключение поврежденного участка. Поэтому в электроустановках напряжением до 1000В обязательно соединение корпусов электрооборудования с заземленной нейтралью установки. При нарушении изоляции, то есть электрическом соединении одной фазы с корпусом при глухозаземленной нейтрали, произойдет короткое замыкание и поврежденный участок будет отключен максимальным автоматом или предохранителем.

Глухое заземление нейтрали выполняют в четырехпроводных сетях переменного тока. Нулевые выводы силовых трансформаторов в этом случае заземляют наглухо, и все части, подлежащие заземлению, непосредственно соединяют с заземленным нулевым выводим. Провод сети, соединенный с заземленной нейтралью трансформатора, называют нулевым проводом. В цепи нулевого провода не должно быть предохранителей или разъединяющих приспособлении. На воздушных линиях напряжением до 1кВ с глухозаземленной нейтралью металлическая связь с нейтралью трансформатора

осуществляется с помощью нулевого провода, прокладываемого на тех же опорах линии, что и фазные; крюки и штыри фазных проводов и арматуру железобетонных опор соединяют с нулевым проводом, на воздушных линиях с изолированной нейтралью — заземляют.

На концах воздушных линий (или ответвлений) длиной более 200 метров, а также на вводах в здания, электроустановки которых подлежит заземлению, выполняют повторные заземления нулевого провода, для чего используют в первую очередь естественные заземлители (например, железобетонные опоры), а также заземляющие устройства, выполненные для защиты от грозовых перенапряжений.

Для повторного заземления нулевого провода выбирают размеры заземляющих проводников из стали по первой таблице вот здесь, из меди — не менее 4 $мм^2$ и алюминия не менее 10 $мм^2$. Сопротивление заземляющего устройства каждого из повторных заземлений должно быть не более 30 Ом для воздушной линии 380/220В, а общее сопротивление заземляющих устройств всех повторных заземлений нулевого провода каждой воздушной линии — не более 10 Ом. При больших удельных сопротивлениях земли (более 104 Ом на см) допускается превышение указанных величин сопротивлений заземляющих устройств, при этом общее их сопротивление не должно превышать 50 Ом.

В установках с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через большое сопротивление, на нулевых выводах силовых трансформаторов устанавливают пробивные предохранители, исключающие опасность поражения током, возникающую при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений. При наличии воздушной сети со стороны низшего напряжения трансформатора пробивной предохранитель ставят на фазе С.

Пробивной предохранитель представляет собой фарфоровый патрон с двумя медными пластинами, между которыми проложена слюдяная прокладка с

отверстиями. Одна пластина предохранителя присоединяется к нулевому выводу трансформатора, другая — к магистральной шине заземления. При повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора происходит переход потенциала с обмотки высшего напряжения на обмотку низшего и в случае возникновения напряжения на нулевом выводе трансформатора более 500В воздушный промежуток в слюдяной прокладке между пластинами предохранителя пробивается и происходит переход опасного потенциала в землю.

8. Требования охраны труда и пожарной безопасности при эксплуатации электроустановок

Единоличный осмотр электроустановки, электротехнической части технологического оборудования имеет право выполнять работник из числа оперативного персонала, имеющий группу не ниже III, обслуживающий данную электроустановку в рабочее время или находящийся на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала (руководители и специалисты, на которых возложены обязанности по организации технического и оперативного обслуживания, проведения ремонтных, монтажных и наладочных работ в электроустановках (далее - административно-технический персонал), имеющий группу V - для электроустановок напряжением выше 1000 В и работник, имеющий группу IV - для электроустановок напряжением до 1000 В. Работники, не обслуживающие электроустановки, могут допускаться к ним в сопровождении оперативного персонала, обслуживающего данную электроустановку, имеющего группу IV - в электроустановках напряжением выше 1000 В, и имеющего группу III - в электроустановках напряжением до 1000 В, либо работника, имеющего право единоличного осмотра. Сопровождающий работник должен осуществлять

контроль за безопасностью людей, допущенных в электроустановки, и предупреждать их о запрещении приближаться к токоведущим частям.

При осмотре электроустановок разрешается открывать двери щитов, сборок, пультов управления и других устройств. При осмотре электроустановок напряжением выше 1000 В не допускается входить в помещения, камеры, не оборудованные ограждениями или барьерами, препятствующими приближению к токоведущим частям на расстояния, менее указанных в таблице 8. Не допускается проникать за ограждения и барьеры электроустановок. Не допускается выполнение какой-либо работы во время осмотра.

Таблица 8. Допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением

Напряжение электроустановок, кВ	Расстояние от работников и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, (м)	Расстояния от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, (м)
до 1	не нормируется (без прикосновения)	1,0
1-35	0,6	1,0
60 - 110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5

При замыкании на землю в электроустановках напряжением 3-35 кВ приближаться к месту замыкания на расстояние менее 4 м в закрытом распределительном устройстве и менее 8 м в открытом распределительном устройстве допускается только для оперативных переключений с целью ликвидации замыкания и освобождения людей, попавших под напряжение. При этом следует пользоваться электрозащитными средствами.

При несчастных случаях для освобождения пострадавшего от действия электрического тока напряжение должно быть снято немедленно без предварительного разрешения оперативного персонала. Отключать и включать электрические аппараты, предназначенные для коммутации электрической цепи и снятия напряжения с части электроустановки (выключатель, выключатель нагрузки, отделитель, разъединитель, автомат, рубильник, пакетный выключатель, предохранитель) и заземлители напряжением выше 1000 В с ручным приводом необходимо в диэлектрических перчатках.

Снимать и устанавливать предохранители следует при снятом напряжении.

Допускается снимать и устанавливать предохранители, находящиеся под напряжением, но без нагрузки.

Под напряжением и под нагрузкой допускается заменять:

- предохранители в цепях управления, электроавтоматики, блокировки, измерения, релейной защиты, контроля и сигнализации;
- предохранители трансформаторов напряжения;
- предохранители пробочного типа.

При снятии и установке предохранителей под напряжением необходимо пользоваться:

- в электроустановках напряжением выше 1000 В - изолирующими клещами (штангой) с применением диэлектрических перчаток и средств защиты лица, глаз от механических воздействий и термических рисков электрической дуги;

- в электроустановках напряжением до 1000 В - изолирующими клещами, диэлектрическими перчатками и средствами защиты лица, глаз от механических воздействий и термических рисков электрической дуги.

Двери помещений электроустановок, камер, щитов и сборок, кроме тех, в которых проводятся работы, должны быть закрыты на замок.

Порядок хранения и выдачи ключей от электроустановок определяется распоряжением руководителя организации (обособленного подразделения). Ключи от электроустановок должны находиться на учете у оперативного персонала. В электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, ключи могут быть на учете у административно-технического персонала. Ключи от электроустановок должны быть пронумерованы и храниться в запираемом ящике. Один комплект должен быть запасным.

Выдача ключей должна быть заверена подписью работника, ответственного за выдачу и хранение ключей, а также подписью работника, получившего ключи.

Ключи от электроустановок должны выдаваться:

- работникам, имеющим право единоличного осмотра, в том числе оперативному персоналу - от всех помещений, вводных устройств, щитов и щитков;

- допускающему из числа оперативного персонала, ответственному руководителю работ и производителю работ, наблюдающему при допуске к работам по наряду-допуску, распоряжению от помещений, вводных устройств, щитов, щитков, в которых предстоит работать;

-оперативному или оперативно-ремонтному персоналу при работах, выполняемых в порядке текущей эксплуатации от помещений, в которых предстоит работать, вводных устройств, щитов и щитков.

Ключи подлежат возврату ежедневно по окончании осмотра или работы.

При работе в электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, ключи от электроустановок должны возвращаться не позднее следующего рабочего дня после осмотра или полного окончания работы.

Работодатель должен обеспечить учет выдачи и возврата ключей от электроустановок.

8.1. Охрана труда при производстве работ в действующих электроустановках

Работы в действующих электроустановках должны проводиться по заданию на производство работы, оформленному на специальном бланке установленной формы и определяющему содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и работников, ответственных за безопасное выполнение работы

Не допускается самовольное проведение работ в действующих электроустановках, а также расширение рабочих мест и объема задания, определенных нарядом, распоряжением или утвержденным работодателем перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Выполнение работ в месте проведения работ по другому наряду должно согласовываться с работником, выдавшим первый наряд (ответственным руководителем или производителем работ).

Согласование оформляется до начала подготовки рабочего места по второму наряду записью "Согласовано" на лицевой стороне второго наряда, располагаемой в левом нижнем поле документа с подписями работников, согласующих документ.

Капитальный ремонт электрооборудования напряжением выше 1000 В, работа на токоведущих частях без снятия напряжения в электроустановках напряжением выше 1000 В, а также ремонт воздушных линий электропередачи

(ВЛЭ) независимо от напряжения, должны выполняться по технологическим картам или проекту производства работ (ППР), утвержденным руководителем организации.

Работы на линиях под наведенным напряжением (отключенных ВЛЭ, воздушных линиях связи (ВЛС), на линиях для передачи электроэнергии, состоящих из участков в воздушном и кабельном исполнении, соединенных между собой, которые проходят по всей длине линии или на отдельных участках вблизи ВЛЭ напряжением 6 кВ и выше или вблизи контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока, находящихся под рабочим напряжением, на проводах (тросах) которых при различных схемах их заземления (а также при отсутствии заземлений) при наибольшем рабочем токе влияющих ВЛ наводится напряжение более 25 В, а также всех ВЛ, сооруженных на двухцепных (многоцепных) опорах при включенной хотя бы одной цепи напряжением 6 кВ и выше выполняются по ППР на выполняемую работу по наряду-допуску.

В электроустановках напряжением до 1000 В при работе под напряжением необходимо:

- снять напряжение с расположенных вблизи рабочего места других токоведущих частей, находящихся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение, или оградить их;
- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;
- применять изолированный инструмент (у отверток должен быть изолирован стержень) или пользоваться диэлектрическими перчатками.
- не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры.

Не допускается при работе около не огражденных токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или по обеим сторонам от него. Не допускается прикасаться без применения

электрозащитных средств к изоляторам, изолирующим частям оборудования, находящегося под напряжением.

В пролетах пересечения в открытом распределительном устройстве (ОРУ) и на ВЛЭ при замене проводов (тросов) и относящихся к ним изоляторов и арматуры, расположенных ниже проводов, находящихся под напряжением, через заменяемые провода (тросы) в целях предупреждения подсечки расположенных выше проводов должны быть перекинуты канаты из растительных или синтетических волокон. Канаты следует перекидывать в двух местах - по обе стороны от места пересечения, закрепляя их концы за якоря, конструкции. Подъем провода (троса) должен осуществляться медленно и плавно.

Работы в ОРУ на проводах (тросах) и относящихся к ним изоляторах, арматуре, расположенных выше проводов, тросов, находящихся под напряжением, необходимо проводить в соответствии с ППР, утвержденным руководителем организации или обособленного подразделения. В ППР должны быть предусмотрены меры для предотвращения опускания проводов (тросов) и для защиты от наведенного напряжения. Не допускается замена проводов (тросов) при этих работах без снятия напряжения с пересекаемых проводов.

Работникам следует помнить, что после исчезновения напряжения на электроустановке оно может быть подано вновь без предупреждения.

Не допускаются работы в неосвещенных местах. Освещенность участков работ, рабочих мест, проездов и подходов к ним должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных устройств на работников.

При приближении грозы должны быть прекращены все работы на ВЛЭ, ВЛС, ОРУ, на вводах и коммутационных аппаратах в закрытом распределительном устройстве (ЗРУ), непосредственно подключенных к ВЛЭ, на линиях для передачи электроэнергии или отдельных импульсов ее, состоящих из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и

крепежными деталями, а для маслонаполненных кабельных линий, кроме того, с подпитывающими аппаратами и системой сигнализации давления масла, подключенных к участкам ВЛЭ, а также на вводах ВЛС в помещениях узлов связи и антенно-мачтовых сооружениях.

Работники, работающие в помещениях с электрооборудованием (за исключением щитов управления, релейных и им подобных), ЗРУ и ОРУ, в подземных сооружениях, колодцах, туннелях, траншеях и котлованах, а также участвующие в обслуживании и ремонте ВЛЭ, должны пользоваться защитными касками.

На ВЛЭ независимо от класса напряжения допускается перемещение работников по проводам сечением не менее 240 кв. мм и по тросам сечением не менее 70 кв. мм при условии, что провода и тросы находятся в нормальном техническом состоянии, не имеют повреждений, вызванных вибрацией, коррозией. При перемещении по расщепленным проводам и тросам строп предохранительного пояса следует закреплять за них, а в случае использования специальной тележки - за тележку.

Техническое обслуживание осветительных устройств, расположенных на потолке машинных залов и цехов, с тележки мостового крана должны производить по наряду не менее двух работников, один из которых должен иметь группу III и выполнять соответствующую работу. Второй работник должен находиться вблизи работающего и контролировать соблюдение им необходимых мер безопасности.

Устройство временных подмостей, лестниц на тележке мостового крана не допускается. Работать следует непосредственно с настила тележки или с установленных на настиле стационарных подмостей.

С троллейных проводов перед подъемом на тележку мостового крана должно быть снято напряжение. При работе следует соблюдать правила по охране труда при работе на высоте.

Передвигать мост или тележку мостового крана крановщик должен только по команде производителя работ. При передвижении мостового крана работники должны размещаться в кабине мостового крана или на настиле моста. Когда работники находятся на тележке мостового крана, передвижение моста и тележки запрещается.

8.2. Организационные мероприятия по обеспечению безопасного проведения работ в электроустановках

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление наряда, распоряжения или перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- выдача разрешения на подготовку рабочего места и на допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Работниками, ответственными за безопасное ведение работ в электроустановках, являются:

- выдающий наряд, отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- выдающий разрешение на подготовку рабочего места;
- ответственный руководитель работ;
- допускающий;
- производитель работ;
- наблюдающий;
- члены бригады.

Работник, выдающий наряд, отдающий распоряжение определяет необходимость и возможность безопасного выполнения работы. Он отвечает за

достаточность и правильность указанных в наряде (распоряжении) мер безопасности, за качественный и количественный состав бригады, состоящей из двух работников и более, включая производителя работ, и назначение ответственных за безопасность выполнения работ, за соответствие выполняемой работе групп перечисленных в наряде работников, а также проведение целевого инструктажа ответственному руководителю работ (производителю работ, наблюдающему).

Право выдачи нарядов и распоряжений предоставляется работникам из числа административно-технического персонала организации, имеющим группу V - в электроустановках напряжением выше 1000 В и группу IV - в электроустановках напряжением до 1000 В.

В случае отсутствия работников, имеющих право выдачи нарядов и распоряжений, при работах по предотвращению аварий или ликвидации их последствий допускается выдача нарядов и распоряжений работниками из числа оперативного персонала, имеющими группу IV. Предоставление оперативному персоналу права выдачи нарядов и распоряжений должно быть оформлено письменным указанием руководителя организации.

Работник, выдающий разрешение на подготовку рабочих мест и на допуск к работам в электроустановках, отвечает:

- за дачу команд по отключению и заземлению оборудования и получению подтверждения их выполнения, а также самостоятельные действия по отключению и заземлению оборудования в соответствии с мероприятиями по подготовке рабочего места, определенными нарядом (распоряжением) с учётом фактической схемы электроустановок и электрической сети;
- за возможность безопасного осуществления отключения, включения и заземления оборудования, находящегося в его управлении;
- за координацию времени и места допускаемых к работам в электроустановках бригад, в том числе учет бригад, получение информации от всех допущенных к

работам в электроустановках бригад (допускающих) о полном окончании работ и возможности включения электроустановки в работу;

- за правильность данных команд, самостоятельных действий по включению коммутационных аппаратов в части исключения подачи напряжения на рабочие места допущенных бригад.

Право выдачи разрешений на подготовку рабочих мест и допуск к работам на объектах электросетевого хозяйства предоставляется оперативному персоналу с группой IV-V в соответствии с должностными инструкциями и распределением оборудования по способам оперативного управления. Допускается право выдачи разрешений на подготовку рабочих мест и допуск к работам на объектах электросетевого хозяйства предоставлять работникам из числа административно-технического персонала, уполномоченным на это письменным указанием руководителя (руководящего работника) эксплуатирующей организации (обособленного подразделения) при эксплуатации электроустановок, находящихся в оперативном управлении других субъектов электроэнергетики.

Ответственный руководитель работ отвечает за выполнение всех указанных в наряде мероприятий по подготовке рабочего места и их достаточность, за принимаемые им дополнительные меры безопасности, необходимые по условиям выполнения работ, за полноту и качество целевого инструктажа бригады, в том числе проводимого допускающим и производителем работ, а также за организацию безопасного ведения работ.

Ответственными руководителями работ в электроустановках напряжением выше 1000 В назначаются работники из числа административно-технического персонала, имеющие группу V и группу IV - в электроустановках напряжением до 1000 В. В тех случаях, когда отдельные работы (этапы работы) необходимо выполнять под надзором и управлением ответственного руководителя работ, работник, выдающий наряд, должен сделать запись об этом в строке "Отдельные указания" наряда.

Работник из числа электротехнического персонала, производящий подготовку рабочих мест и (или) оценку достаточности принятых мер по их подготовке, инструктирующий членов бригады и осуществляющий допуск к работе (далее - допускающий), отвечает за правильность и достаточность принятых им мер безопасности по подготовке рабочих мест и соответствие их мероприятиям, указанным в наряде или распоряжении, характеру и месту работы, за правильный допуск к работе, а также за полноту и качество проводимого им целевого инструктажа.

8.3. Охрана труда при выполнении технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ со снятием напряжения

При подготовке рабочего места со снятием напряжения, при котором с токоведущих частей электроустановки, на которой будут проводиться работы, снято напряжение отключением коммутационных аппаратов, отсоединением шин, кабелей, проводов и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на токоведущие части к месту работы, должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- установлено заземление;
- вывешены указательные плакаты "Заземлено", ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

8.4. Охрана труда при выполнении отключений в электроустановках

При подготовке рабочего места должны быть отключены:

- токоведущие части, на которых будут производиться работы;
- неогражденные токоведущие части, к которым возможно случайное приближение людей, механизмов и грузоподъемных машин;
- цепи управления и питания приводов, закрыт воздух в системах управления коммутационными аппаратами, снят завод с пружин и грузов у приводов выключателей и разъединителей.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с каждой стороны, с которой включением коммутационного аппарата не исключена подача напряжения на рабочее место, должен быть видимый разрыв. Видимый разрыв разрешается создавать отключением разъединителей, снятием предохранителей, отключением отделителей и выключателей нагрузки, отсоединением или снятием шин и проводов.

В случае отсутствия видимого разрыва, в комплектных распределительных устройствах заводского изготовления с выкатными элементами, а также в комплектных распределительных устройствах с элегазовой изоляцией (КРУЭ) напряжением 35 кВ и выше разрешается проверку отключенного положения коммутационного аппарата проверять по механическому указателю гарантированного положения контактов.

Силовые трансформаторы и трансформаторы напряжения, связанные с выделенным для работ участком электроустановки, должны быть отключены и схемы их разобраны также со стороны других своих обмоток для исключения возможности обратной трансформации.

При дистанционном управлении коммутационными аппаратами с рабочего места, позволяющего оперативному персоналу, осуществляющему оперативное обслуживание электроустановок, дистанционно (с монитора

компьютера) осуществлять управление коммутационными аппаратами, заземляющими ножами разъединителей и определять их положение, использовать выводимые на монитор компьютера схемы электрических соединений электроустановок, электрические параметры (напряжение, ток, мощность), а также считывать поступающие аварийные и предупредительные сигналы (автоматизированное рабочее место оперативного персонала - АРМ) не допускается нахождение персонала в распределительных устройствах, в которых находятся данные коммутационные аппараты.

После отключения выключателей, разъединителей (отделителей) и выключателей нагрузки с ручным управлением необходимо визуально убедиться в их отключении и отсутствии шунтирующих перемычек.

При дистанционном управлении коммутационными аппаратами с АРМ проверка положения коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей, заземляющих ножей) производится по сигнализации АРМ. Общий контроль за состоянием коммутационных аппаратов осуществляется средствами технологического видеонаблюдения. Визуальная проверка фактического положения коммутационных аппаратов должна быть выполнена после окончания всего комплекса операций непосредственно на месте установки коммутационных аппаратов.

В электроустановках напряжением выше 1000 В для предотвращения ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов, которыми подается напряжение к месту работы, должны быть приняты следующие меры:

- у разъединителей, отделителей, выключателей нагрузки ручные приводы в отключенном положении должны быть заперты ключом или съемной ручкой.

В электроустановках напряжением 6-10 кВ с однополюсными разъединителями вместо механического замка допускается надевать на ножи диэлектрические колпаки;

- разъединителей, управляемых оперативной штангой, стационарные ограждения должны быть заперты на механический замок;

- у приводов коммутационных аппаратов, имеющих дистанционное управление, должны быть отключены силовые цепи и цепи управления, а у пневматических приводов, кроме того, на подводящем трубопроводе сжатого воздуха задвижка должна быть закрыта и заперта на механический замок и выпущен сжатый воздух, при этом спускные клапаны должны быть оставлены в открытом положении;

- при дистанционном управлении с АРМ, у приводов разъединителей должны быть отключены силовые цепи, ключ выбора режима работы в шкафу управления переведен в положение «местное управление», шкаф управления разъединителем заперт на механический замок;

- у грузовых и пружинных приводов включающий груз или включающие пружины должны быть приведены в нерабочее положение;

- должны быть вывешены запрещающие плакаты.

В электроустановках напряжением до 1000 В со всех токоведущих частей, на которых будет проводиться работа, напряжение должно быть снято отключением коммутационных аппаратов с ручным приводом, а при наличии в схеме предохранителей - снятием последних. При отсутствии в схеме предохранителей предотвращение ошибочного включения коммутационных аппаратов должно быть обеспечено такими мерами, как запирание рукояток или дверец шкафа управления, закрытие кнопок, установка между контактами коммутационного аппарата изолирующих накладок. При снятии напряжения коммутационным аппаратом с дистанционным управлением необходимо разомкнуть вторичную цепь включающей катушки.

Перечисленные меры могут быть заменены расшиновкой или отсоединением кабеля, проводов от коммутационного аппарата либо от оборудования, на котором должны проводиться работы.

Необходимо вывесить запрещающие плакаты.

Отключенное положение коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В с недоступными для осмотра контактами определяется проверкой отсутствия напряжения на их зажимах либо на отходящих шинах, проводах или зажимах оборудования, включаемого этими коммутационными аппаратами. Проверку отсутствия напряжения в комплектных распределительных устройствах заводского изготовления допускается производить с использованием встроенных стационарных указателей напряжения.

8.5. Вывешивание запрещающих плакатов

На приводах (рукоятках приводов) коммутационных аппаратов с ручным управлением (выключателей, отделителей, разъединителей, рубильников, автоматов) во избежание подачи напряжения на рабочее место должны быть вывешены плакаты "Не включать! Работают люди".

У однополюсных разъединителей плакаты вывешиваются на приводе каждого полюса, у разъединителей, управляемых оперативной штангой на ограждениях. На задвижках, закрывающих доступ воздуха в пневматические приводы разъединителей, вывешивается плакат "Не открывать! Работают люди".

На присоединениях напряжением до 1000 В, не имеющих коммутационных аппаратов, плакат "Не включать! Работают люди" должен быть вывешен у снятых предохранителей.

Плакаты должны быть вывешены на ключах и кнопках дистанционного и местного управления, а также на автоматах или у места снятых предохранителей цепей управления и силовых цепей питания приводов коммутационных аппаратов.

При дистанционном управлении коммутационными аппаратами с АРМ аналогичные плакаты безопасности, кроме того, должны быть отображены

рядом с графическим обозначением соответствующего коммутационного аппарата на схеме АРМ.

На приводах коммутационных аппаратов, которыми отключена для работ ВЛЭ или КЛ, независимо от числа работающих бригад, вывешивается один плакат "Не включать! Работа на линии". При дистанционном управлении коммутационными аппаратами с АРМ знак запрещающего плаката «Не включать! Работа на линии!» отображается на схеме рядом с символом коммутационного аппарата, которым подается напряжение на ВЛЭ или КЛ. Этот плакат вывешивается и снимается по указанию оперативного персонала, ведущего учет числа работающих на линии бригад.

8.6. Охрана труда при проверке отсутствия напряжения

Проверять отсутствие напряжения необходимо указателем напряжения, исправность которого перед применением должна быть установлена с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением.

В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться указателем напряжения необходимо в диэлектрических перчатках.

В комплектных распределительных устройствах заводского изготовления проверка отсутствия напряжения производится с использованием встроенных стационарных указателей напряжения.

В электроустановках напряжением 35 кВ и выше для проверки отсутствия напряжения можно пользоваться изолирующей штангой, прикасаясь ею несколько раз к токоведущим частям. Признаком отсутствия напряжения является отсутствие искрения и потрескивания. На одноцепных ВЛЭ напряжением 330 кВ и выше достаточным признаком отсутствия напряжения является отсутствие коронирования.

При дистанционном управлении коммутационными аппаратами и заземляющими ножами с АРМ допускается проверку отсутствия напряжения, производимую перед включением заземляющих ножей, выполнять выверкой схемы, отображаемой на мониторе АРМ.

В РУ проверять отсутствие напряжения разрешается одному работнику из числа оперативного персонала, имеющему группу IV в электроустановках напряжением выше 1000 В, и имеющему группу III в электроустановках напряжением до 1000 В.

На ВЛЭ проверку отсутствия напряжения должны выполнять два работника: на ВЛ напряжением выше 1000 В - работники, имеющие группы IV и III, на ВЛ напряжением до 1000 В - работники, имеющие группу III.

8.7. Охрана труда при установке заземлений

Устанавливать заземления на токоведущие части необходимо непосредственно после проверки отсутствия напряжения. Переносное заземление сначала нужно присоединить к заземляющему устройству, а затем, после проверки отсутствия напряжения, установить на токоведущие части. Снимать переносное заземление необходимо в обратной последовательности: сначала снять его с токоведущих частей, а затем отсоединить от заземляющего устройства.

Установка и снятие переносных заземлений должны выполняться в диэлектрических перчатках с применением в электроустановках напряжением выше 1000 В изолирующей штанги. Закреплять зажимы переносных заземлений следует этой же штангой. Запрещается при установке, снятии

переносного заземления или выполнения работы касаться проводящих частей заземления.

8.8. Охрана труда при установке заземлений в распределительных устройствах

В электроустановках напряжением выше 1000 В заземляться должны токоведущие части всех фаз (полюсов) отключенного для работ участка со всех сторон, откуда подается напряжение, за исключением отключенных для работы сборных шин РУ, на которые достаточно установить одно заземление.

При работах на отключенном линейном разъединителе на провода спусков со стороны ВЛЭ независимо от наличия заземляющих ножей на разъединителе должно быть установлено дополнительное заземление, не нарушаемое при манипуляциях с разъединителем.

Заземленные токоведущие части должны быть отделены от токоведущих частей, находящихся под напряжением, видимым разрывом.

Установленные заземления могут быть отделены от токоведущих частей, на которых непосредственно ведется работа, отключенными выключателями, разъединителями, отделителями или выключателями нагрузки, снятыми предохранителями, демонтированными шинами или проводами, выкатными элементами комплектных устройств.

Непосредственно на рабочем месте заземление на токоведущие части дополнительно должно быть установлено в тех случаях, когда эти части могут оказаться под наведенным напряжением (потенциалом).

Переносные заземления следует присоединять к токоведущим частям в местах, очищенных от краски.

В электроустановках напряжением до 1000 В при работах на сборных шинах РУ, щитов, сборок напряжение с шин должно быть снято и шины (за исключением шин, выполненных изолированным проводом) должны быть заземлены. Необходимость и возможность заземления присоединений этих РУ, щитов, сборок и подключенного к ним оборудования определяет выдающий наряд, распоряжение.

Разрешается временное снятие заземлений, установленных при подготовке рабочего места, если это требуется по характеру выполняемых работ (измерение сопротивления изоляции).

Временное снятие и повторную установку заземлений выполняют оперативный персонал либо по указанию работника, выдающего наряд, производитель работ.

В электроустановках, конструкция которых такова, что установка заземления опасна или невозможна (например, в некоторых распределительных ящиках, КРУ отдельных типов, сборках с вертикальным расположением фаз), должны быть разработаны дополнительные мероприятия по обеспечению безопасности работ, включающие установку диэлектрических колпаков на ножи разъединителей, рубильников диэлектрических накладок или отсоединение проводов, кабелей и шин. Перечень таких электроустановок утверждается работодателем и доводится до сведения работников.

В электроустановках напряжением до 1000 В операции по установке и снятию заземлений разрешается выполнять одному работнику, имеющему группу III, из числа оперативного персонала.

В электроустановках напряжением выше 1000 В устанавливать переносные заземления должны два работника: один - имеющий группу IV (из числа оперативного персонала), другой - имеющий группу III; работник, имеющий группу III, имеет право быть из числа ремонтного персонала, а при выполнении работ по заземлению присоединений потребителей - из персонала потребителей. На удаленных подстанциях по разрешению административно-технического или оперативного персонала при установке заземлений в

основной схеме разрешается работа второго работника, имеющего группу III, из числа персонала потребителей; включать заземляющие ножи имеет право один работник, имеющий группу IV, из числа оперативного персонала.

Отключать заземляющие ножи и снимать переносные заземления единолично имеет право работник из числа оперативного персонала, имеющий группу III.

8.9. Охрана труда при установке заземлений на воздушных линиях электропередачи

ВЛ напряжением выше 1000 В должны быть заземлены во всех РУ и у секционирующих коммутационных аппаратов, где отключена линия. Разрешается:

- ВЛ напряжением 35 кВ и выше с ответвлениями не заземлять на подстанциях, подключенных к этим ответвлениям, при условии, что ВЛ заземлена с двух сторон, а на этих подстанциях заземления установлены за отключенными линейными разъединителями;
- ВЛ напряжением 6-20 кВ заземлять только в одном РУ или у одного секционирующего аппарата либо на ближайшей к РУ или секционирующему аппарату опоре. В остальных РУ этого напряжения и у секционирующих аппаратов, где ВЛЭ отключена, разрешается ее не заземлять при условии, что на ВЛЭ будут установлены заземления между рабочим местом и этим РУ или секционирующими аппаратами. На ВЛЭ указанные заземления следует устанавливать на опорах, имеющих заземляющие устройства.

На ВЛЭ напряжением до 1000 В достаточно установить заземление только на рабочем месте.

При монтаже проводов в анкерном пролете, а также после соединения петель на анкерных опорах смонтированного участка ВЛ провода (тросы)

должны быть заземлены на начальной анкерной опоре и на одной из конечных промежуточных опор (перед анкерной опорой конечной).

Не разрешается заземлять провода (тросы) на конечной анкерной опоре смонтированного анкерного пролета, а также смонтированного участка ВЛЭ во избежание перехода потенциала от грозовых разрядов и других перенапряжений с проводов (тросов) готового участка ВЛЭ на следующий, монтируемый, ее участок.

На ВЛЭ с расщепленными проводами разрешается в каждой фазе заземлять только один провод; при наличии изолирующих распорок заземлять требуется все провода фазы.

На одноцепных ВЛЭ заземление на рабочих местах необходимо устанавливать на опоре, на которой ведется работа, или на соседней. Разрешается установка заземлений с двух сторон участка ВЛЭ, на котором работает бригада, при условии, что расстояние между заземлениями не превышает 2 км.

При работах на изолированном от опоры молниезащитном тросе или на конструкции опоры, когда требуется приближение к этому тросу на расстояние менее 1 м, трос должен быть заземлен. Заземление нужно устанавливать в сторону пролета, в котором трос изолирован, или в пролете на месте проведения работ. Отсоединять и присоединять заземляющий спуск к грозозащитному тросу, изолированному от земли, следует после предварительного заземления троса.

Если на этом тросе предусмотрена плавка гололеда, перед началом работы трос должен быть отключен и заземлен с тех сторон, откуда на него не исключена подача напряжения.

Переносные заземления следует присоединять на металлических опорах - к их элементам, на железобетонных и деревянных опорах с заземляющими спусками - к этим спускам после проверки их целости. На железобетонных опорах, не имеющих заземляющих спусков, разрешается присоединять

заземления к траверсам и другим металлическим элементам опоры, имеющим контакт с заземляющим устройством.

В электросетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью при наличии повторного заземления нулевого провода разрешается присоединять переносные заземления к этому нулевому проводу.

Места присоединения переносных заземлений к заземляющим проводникам или к конструкциям должны быть очищены от краски.

Переносное заземление на рабочем месте разрешается присоединять к заземлителю, погруженному вертикально в грунт, не менее чем на 0,5 м. Запрещена установка заземлителей в случайные навалы грунта.

На ВЛЭ напряжением до 1000 В при работах, выполняемых с опор либо с телескопической вышки без изолирующего звена, заземление должно быть установлено как на провода ремонтируемой линии, так и на все подвешенные на этих опорах провода, в том числе на неизолированные провода линий радиотрансляции и телемеханики.

На ВЛЭ, отключенных для ремонта, устанавливать, а затем снимать переносные заземления и включать имеющиеся на опорах заземляющие ножи должны работники из числа оперативного персонала: один, имеющий группу IV (на ВЛ напряжением выше 1000 В) или группу III (на ВЛ напряжением до 1000 В), второй - имеющий группу III. Разрешается использование второго работника, имеющего группу III, из числа ремонтного персонала, а на ВЛЭ, питающих потребителя, из числа персонала потребителя.

Отключать заземляющие ножи разрешается одному работнику, имеющему группу III, из числа оперативного персонала.

На рабочих местах на ВЛЭ устанавливать переносные заземления имеет право производитель работ с членом бригады, имеющим группу III. Снимать эти

переносные заземления разрешается по указанию производителя работ два члена бригады, имеющие группу III.

На ВЛЭ при проверке отсутствия напряжения, установке и снятии заземлений один из двух работников должен находиться на земле и вести наблюдение за другим.

8.10. Основные требования охраны труда и пожарной безопасности при эксплуатации электроустановок

Пожарная безопасность электроустановок регламентируется рядом норм и правил ГОСТов и указаний. Эти нормативные положения учитываются при устройстве, проектировании и эксплуатации электроустановок.

Основным документом, регламентирующим пожарную безопасность, является ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования». Он устанавливает общие требования к системам обеспечения пожарной безопасности объектов различного назначения при разработке нормативных документов, проектировании, реализации проектов и эксплуатации объектов, а также при разработке проектов компенсирующих средств и систем обеспечения пожарной безопасности для не отвечающих требованиям действующих норм эксплуатируемых объектов.

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системой предотвращения пожара и системой противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Система пожарной безопасности должна исключать возникновение пожара и обеспечивать пожарную безопасность людей и материальных ценностей. Допустимый уровень пожарной опасности должен быть не более 10^{-6} в расчете на каждого человека.

Вероятность возникновения пожара от электротехнического или другого изделия или оборудования не должна превышать значения 10^{-6} в год (п.1.4 ГОСТ 12.1.004–91).

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) распространяются на сооружаемые и реконструируемые электроустановки. На их основе решаются вопросы выбора и проектирования электроустановок для различных условий, в том числе и для пожароопасных и взрывоопасных зон. Правила предусматривают обязательное проведение планово-предупредительных и профилактических испытаний, ремонтов и монтажа электроустановок, обучения и проверки обслуживающего персонала в объеме Правил эксплуатации электроустановок потребителей (ПЭЭП). В значительной степени ПУЭ, так же, как и ГОСТ 12.1.004-91, регламентирует вопросы пожаровзрывобезопасности электроустановок при соблюдении соответствующих правил монтажа и эксплуатации.

Правила эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей являются обязательными для всех потребителей электроэнергии независимо от их ведомственной принадлежности. Они распространяются на действующие электроустановки. Выполнение требований этих правил способствует технически грамотной эксплуатации электроустановок, что обеспечивает одновременно пожаро- и взрывобезопасность при эксплуатации электроустановок. Ввиду тяжелых последствий взрывов во взрывоопасных зонах, специфики и сложности эксплуатации электроустановок во взрывоопасных зонах, в ПЭЭП включена гл. 3.4 “Электроустановки во взрывоопасных зонах”.

8.11. Электроизоляционные и конструкционные материалы

Неметаллические материалы, предназначенные для изготовления наружных частей, частей, удерживающих токопроводники и поддерживающие соединения в определенном положении, должны быть теплостойкими.

Материалы, используемые в конструкции электротехнических устройств (ЭУ), должны быть стойкими к воспламенению и распространению горения. Они должны иметь класс V-2, V-1, V-0 или класс НВ в соответствии с ГОСТ Р 50377. Вспененные материалы должны иметь класс HF-2, HBF, HF-1.

Продолжительность горения образца после устранения горелки с испытательным пламенем должна быть не больше 10 с для класса V-0 и 30 с для класса V-1 или V-2.

Материалы относятся к классу НВ, если при испытании скорость распространения огня или тления ни одного из образцов не превысит:

- 40 мм/мин – для образцов толщиной 3 мм;
- 70 мм/мин – для образцов толщиной менее 3 мм;
- или если пламя или тление не достигают отметки 100 мм.

Материал относится к классу HF-2, если образцы не горят дольше 10 с после устранения испытательного пламени; если ни один из образцов не тлеет дольше 30 с после устранения испытательного пламени, если ни один из образцов не горит (не тлеет) на расстоянии, большем 60 мм от края, к которому было приложено пламя.

Материал относится к классу HF-1, если он удовлетворяет требованиям HF-2, кроме того, вата не загорается от частиц и капель, отрывающихся от материала во время нагрева испытательным пламенем.

Материал относится к классу HBF, если:

- горит со скоростью меньше 40 мм/мин на участке 100 мм;

- прекращает гореть раньше, чем будет достигнута длина 120 мм от конца образца, к которому прикладывается испытательное пламя.

Данное требование не распространяется на материалы декоративных украшений, кнопок и других частей, а также на материалы составных частей, расположенных внутри цельнометаллического кожуха. Классификация материалов должна соответствовать требованиям, установленным ГОСТ Р 50377. Для деталей и узлов класс материала устанавливается в зависимости от их функционального назначения в электрическом изделии.

Детали, не соприкасающиеся с токопроводящими частями, но способствующие передаче пламени, должны иметь класс V-0.

Полимерные электроизоляционные и конструкционные материалы, используемые в высоковольтных составных частях ЭУ, работающих на переменном напряжении, превышающем 4 кВ, должны иметь класс V-2 или выше, а вспененные - класс HF-2 или выше.

Твёрдые электроизоляционные и конструкционные материалы должны обладать стойкостью к воздействию накаленными элементами. Для наружных частей из неметаллических материалов и частей из изоляционных материалов, удерживающих токопроводники в определённом положении (кроме контактных соединений) температура воздействия накаленных элементов должна быть 550 °С. Критерии пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 27483.

Электроизоляционные и конструкционные материалы частей, поддерживающих контактные соединения, должны быть стойкими к нагреву, вызванному переходным сопротивлением в дефектном контактном соединении. Они должны выдерживать тепловое воздействие накаленными элементами, имеющими температуру 750 °С для аппаратуры, работающей под надзором, и

850 °С - для аппаратуры, работающей без надзора. Критерии пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 27483.

Электроизоляционные и конструкционные материалы, применяемые в высоковольтных узлах и блоках, должны быть дугостойкими. Стойкость фольгированных диэлектриков к воспламенению от высоковольтной дуги должна быть не менее 15 с.

Материалы элементов, блоков и узлов должны быть стойкими к образованию токопроводящих мостиков. Пять образцов должны выдерживать 50 капель раствора хлорида аммония (NH4Cl) без закорачивания цепи по поверхности материала.

8.12.Комплектующие элементы электроустановок

Испытания проводят в целях оценки соответствия изделий требованиям пожарной безопасности, которые должны быть установлены в технических заданиях (ТЗ), стандартах и технических условиях (ТУ) на изделия. Испытания проводят методами воздействия пламени и аварийной электрической перегрузки.

Испытание методом воздействия пламени проводят в вытяжном шкафу с использованием газовой горелки, обеспечивающей испытательный режим (ГОСТ 20.57.406-81, с. 122-125). Пламя горелки прикладывают к поверхности изделия первоначально в течение одной или нескольких секунд и регистрируют время самостоятельного горения изделия. Если при этом время самостоятельного горения более 1 с, то время приложения пламени уменьшают до такого значения, при котором продолжительность самостоятельного горения равна 1 с. Постепенно увеличивают время приложения пламени горелки к изделию в зависимости от скорости горения изделия. После каждого приложения пламени горелки регистрируют время самостоятельного горения.

Пламя прикладывают к изделию до тех пор, пока не будет зарегистрировано постоянное время самостоятельного горения изделия, или время самостоятельного горения достигнет максимального значения и начнет уменьшаться, или произойдет полное сгорание изделия за время приложения пламени.

При этом допускается несколько последовательных приложений пламени к одному и тому же изделию, если предыдущее приложение пламени не влияет на последующее. В противном случае для каждого приложения пламени следует брать другое изделие.

8.13. Организация пожарной безопасности электроустановок

Лица, ответственные за состояние электроустановок (главный энергетик, начальник электроцеха, инженерно-технический работник соответствующей квалификации, назначенный приказом руководителя предприятия или цеха), обязаны:

а) обеспечить организацию и своевременное проведение профилактических осмотров и планово-предупредительных ремонтов электрооборудования, аппаратуры и электросетей, а также своевременное устранение нарушений ПТЭ и ПТБ, могущих привести к пожарам и загораниям;

б) следить за правильностью выбора и применения кабелей, электропроводов, двигателей, светильников и другого электрооборудования в зависимости от класса пожаро- и взрывоопасности помещений и условий окружающей среды;

в) систематически контролировать состояние аппаратов защиты от короткого замыкания (КЗ), перегрузок, внутренних и атмосферных перенапряжений, а также других аварийных режимов работы;

г) следить за исправностью специальных установок и средств, предназначенных для ликвидации загораний и пожаров в электроустановках и кабельных помещениях;

д) организовывать систему обучения и инструктажа дежурного персонала по вопросам пожарной безопасности при эксплуатации электроустановок; е) участвовать в расследовании случаев пожаров и загораний от электроустановок, разрабатывать и осуществлять меры по их предупреждению.

Дежурный электрик (сменный электромонтер) обязан производить плановые профилактические осмотры электрооборудования, проверять наличие и исправность аппаратов защиты и принимать немедленные меры к устранению нарушений, которые могут привести к пожарам и загораниям. Результаты осмотров электроустановок, обнаруженные неисправности и принятые меры следует фиксировать в оперативном журнале. Проверка изоляции кабелей, проводов, надежности соединений, защитного заземления, режима работы электродвигателей должна производиться электриками предприятия как наружным осмотром, так и с помощью приборов. Замер сопротивления изоляции проводов должен производиться в сроки, установленные ПТЭ и ПТБ.

Все электроустановки должны быть защищены аппаратами защиты от токов КЗ и других аварийных режимов, которые могут привести к пожарам и загораниям.

Плавкие вставки предохранителей должны быть калиброваны с указанием на клейме номинального тока вставки (клеймо ставится заводом-изготовителем или электротехнической лабораторией).

Соединение, оконцевания и ответвления жил проводов и кабелей во избежание опасных в пожарном отношении переходных сопротивлений необходимо производить при помощи опрессовки, сварки, пайки или специальных зажимов.

Устройство и эксплуатация временных электросетей, как правило, не допускаются. Исключением могут быть временные иллюминационные установки и электропроводки, питающие места производства строительных и временных ремонтно-монтажных работ.

Переносные светильники должны быть оборудованы защитными стеклянными колпаками и сетками. Для этих светильников и другой переносной электроаппаратуры надлежит применять специально предназначенные. Для этой цели гибкие кабели и провода с медными жилами с учетом возможных механических воздействий. Прокладка электрических проводов и кабелей транзитом через складские, производственные и иного назначения помещения также не допускается.

Воздушные линии электропередачи от пожароопасных производственных и складских зданий, установок, навесов и штабелей горючих материалов в соответствии с требованиями норм должны располагаться на расстоянии не менее полутора кратной высоты опоры.

В производственных и складских помещениях с наличием горючих материалов (бумага, хлопок, лен, каучук и др.), а также изделий в сгораемой упаковке электрические светильники должны иметь закрытое или защищенное исполнение (со стеклянными колпаками). Осветительная электросеть должна быть смонтирована так, чтобы светильники не соприкасались со сгораемыми конструкциями зданий и горючими материалами.

Электродвигатели, светильники, проводка, распределительные устройства должны очищаться от горючей пыли не реже 2 раз в месяц, а в помещениях со значительным выделением пыли — не реже 4 раз в месяц.

При эксплуатации электроустановок запрещается:
- использовать электродвигатели и другое электрооборудование, поверхности которого при работе нагреваются более чем на 40 °С по сравнению с температурой окружающего воздуха;
- использовать кабели и провода с поврежденной изоляцией и изоляцией, которая в процессе эксплуатации потеряла необходимые электроизоляционные свойства (например, сопротивление изоляции каждого участка в электросетях до 1000 В должно быть не ниже 0,5 МОм на фазу);

- оставлять под напряжением электрические провода и кабели с неизолированными концами;
- пользоваться поврежденными розетками, ответвительными и соединительными коробками, рубильниками и другими электроустановочными изделиями.

Неисправности в электросетях и электроаппаратуре, которые могут вызвать искрение, КЗ, перегрев изоляции кабелей и проводов, должны немедленно устраняться дежурным персоналом. Если сделать это в короткое время не представляется возможным, электрики должны принять меры к отключению таких участков электросети до приведения их в пожаробезопасное состояние.

Большое значение и профилактике аварийных режимов в электроустановках имеет правильный выбор аппаратов защиты. Так, защита от перегрузок с помощью предохранителей возможна при условии, если защищаемые элементы установки будут иметь запас по пропускной способности на 25 % больше поминального тока плавких вставок.

9. Тушение пожаров в электроустановках

По данным статистики пожары на объектах энергетики распределяются следующим образом:

- на тепловых электростанциях — 52 %;
- на подстанциях — 43 %;
- на гидроэлектростанциях — 5%.

Распределение пожаров и загораний по месту их возникновения имеет следующий вид:

- трансформаторы и реакторы - 43 % ;

- склады топлива и топливоподачи, установки пылеприготовления - 25 % ;
- электрические машины (генераторы, гидрогенераторы, синхронные компенсаторы) - 16% ;
- кабельные сооружения - 9 % ;
- прочие сооружения электростанций и подстанций - 7 % .

Это подтверждает необходимость уделять повышенное внимание вопросам предупреждения и тушения пожаров на крупных энергетических объектах. Большинство пожаров от электроустановок можно предотвратить, а причиняемый ими ущерб свести к минимуму, если обслуживающий персонал (особенно работники электроцехов) будут знать особенности пожарной опасности электрооборудования и порядок действий по тушению возникшего пожара (загорания).

9.1. Особенности развития пожаров на объектах электроэнергетики

Современные промышленные предприятия характерны высокой энергоемкостью силовых установок и оборудования. Так, например, металлургический завод питают энергией более десяти понижающих подстанций, от которых работает около 100 тыс. электродвигателей и трансформаторов. Общая длина электрокабельных туннелей и полуэтажей составляет несколько десятков километров. Среди горючих веществ и материалов, встречающихся на электростанциях, можно выделить: дизельное топливо для аварийных силовых установок, гидравлическое масло, смазочные масла (например, для охлаждения и смазки подшипников турбин), трансформаторное масло, водород для охлаждения ротора генератора, горючие фильтрующие материалы (древесный уголь), изоляцию электрических кабелей, конструкционные материалы на основе пластмасс и др.

По данным анализа пожаров в зданиях электростанции можно сделать вывод, что распространение огня в машинных залах и котельных происходит, как правило, очень быстро. Это связано с интенсивным горением масла (в машинных залах), мазута, дизельного топлива и других горючих жидкостей (в котельных), находящихся в горячем или подогретом состоянии. Быстрое развитие пожара приводит к интенсивному повышению температуры, прогреву до критических температур металлических конструкций и обрушению покрытия.

При обрушении конструкций покрытия выводятся из строя дорогостоящее, уникальное оборудование, турбогенераторы, маслопроводы и т.д. Надолго выводятся из строя турбоагрегаты или электростанция в целом. Оценивая пожарную опасность кабельных сооружений, нужно отметить, что в качестве материала, используемого для оплетки и изоляции проводов и кабелей, часто применяется поливинилхлорид, который при нагреве выделяет хлористый водород.

Большинство выпускаемых промышленностью кабельных изделий (за исключением кабелей с минеральной изоляцией и в металлической оболочке) относятся к группе горючих, так как для изоляции и защитных покровов используются горючие материалы: полиэтилен, кабельный пластикат ПВХ, резина, бумага, битум, масло.

В кабельных туннелях и полуэтажах кабели укладывают на специальные металлические конструкции, располагаемые с одной или с двух сторон туннеля. Вертикальное расстояние между горизонтальными конструкциями для силовых кабелей зависит от числа кабелей в ряду и от напряжения. Например, при напряжении до 10 кВ и при числе кабелей в ряду не более четырех это расстояние составляет 200 мм. Количество горизонтальных конструкций зависит от высоты туннеля или кабельного помещения и при высоте 2 м будет составлять 8—10. В связи с этим общее количество кабелей в туннеле может быть при двустороннем расположении конструкций 65—80, а при

одностороннем 32—40. В местах пересечения кабельных потоков число кабелей на участке туннеля значительно возрастает. Удельная горючая нагрузка этих помещений составляет 25-40кг/м^2.

При пожарах в кабельных помещениях в начальный период происходит медленное развитие горения и только спустя некоторое время скорость его распространения существенно увеличивается. Практика свидетельствует, что при реальных пожарах в кабельных туннелях наблюдаются температуры до 600 °С и выше. Это объясняется тем, что в реальных условиях горят кабели, которые длительное время находятся под токовой нагрузкой и изоляция которых прогревается изнутри до температуры 80 °С и выше. Иногда наблюдается одновременное воспламенение кабелей в нескольких местах и на значительной длине. Связано это с тем, что кабель находился под нагрузкой и его изоляция нагрелась до температуры, близкой к температуре самовоспламенения.

В кабельных помещениях пожары возникают в основном из-за короткого замыкания (КЗ), электрического пробоя изоляции или ее перегрева. Развитию пожаров способствует наличие горючей изоляции и ее нагрев рабочими токами, а также то, что закрытые люки в перекрытиях туннелей препятствуют выходу продуктов горения, которые удаляются лишь через вентиляционные отверстия в торцах туннеля (отсека). При движении продуктов горения вдоль кабельных линий происходит нагрев изоляции, что приводит к резкому увеличению скорости распространения горения.

В помещениях контрольных кабелей обычно проложены линии оперативного тока, которые не защищена от перегрузки и токов КЗ. При повреждении и КЗ на такой линии почти одновременно по всей длине кабеля возникает множество очагов горения и пожар может быстро распространяться на другие помещения или установки, расположенные даже на значительном удалении от места первоначального возникновения горения.

Развитие пожаров в кабельных помещениях с кабелями в

маслонаполненных трубах при равных условиях газообмена происходит более интенсивно, чем по кабелям воздушной прокладки. Вызвано это тем, что масло в трубах находится при температуре 35—40°С под избыточным давлением и при разгерметизации трубы растекается, увеличивая площадь горения и температуру в помещении. Пожары в туннелях нередко приводят к возникновению источников зажигания (при прохождении токов КЗ) на других участках электросети: на пультах управления, в ячейках распределительных устройств (РУ), трансформаторных блоках, что может явиться причиной нового очага пожара. Развитие пожара в машинных залах электростанций во многом зависит от характера возникновения горения (воспламенение паров масла, взрыв, КЗ и т. п.). Наиболее интенсивно развиваются пожары при взрывах, когда возникает множество очаговых повреждений систем соседних генераторов, турбин, в результате чего возможны выход водорода из системы охлаждения, растекание масла, образование КЗ на линиях оперативного тока, контрольных и силовых кабелей. Могут иметь место обрушения ограждающих конструкций здания.

При аварии маслосистем и горении масла обстановка осложняется тем, что масло через неплотности к проемы растекается на нижерасположенные отметки в кабельные каналы, туннели и полуэтажи. В пламени оказываются масляные емкости и маслопроводы других блоков. При этом выделяется большое количество дыма, что часто не позволяет дежурному персоналу произвести все необходимые операции по оперативному плану тушения и обеспечить постоянный контроль других агрегатов. Сложность обстановки при горении масла заключается в том, что емкости маслосистем, маслопроводы, насосы находятся на нулевой отметке, где происходит горение растекающегося масла, тогда как генераторы и турбины со всеми приборами контроля и управления находятся выше нулевой отметки, т. е. в зоне действия дыма и пламени. Скорость распространения огня по площади может достигать 25

$м^2$/мин.Среди веществ, применяемых на электростанциях, наиболее пожароопасными являются турбинное и трансформаторное масла.

Развитие пожаров в трансформаторах зависит в основном от причин их возникновения и поведения корпуса трансформатора. При местном перегреве сердечника горение обычно носит тлеющий характер и может продолжаться длительное время. Признаками такого пожара являются выделение газов в камере газового реле, а также шум трансформатора. При несвоевременном отключении трансформатора происходит КЗ и горение в обмотках. Обнаружить это можно по выходу продуктов горения из консерватора, разрушению предохранительной мембраны, выпучиванию стенок или крышки баков. При межвитковых пробоях и КЗ в обмотке высокого напряжения и своевременном срабатывании аппаратов защиты наблюдается только местное выгорание обмотки. В противном случае в зависимости от мощности КЗ может произойти разрушение мембраны, консерватора и срыв крышки трансформатора с выбросом масла наружу. При большой мощности КЗ (чаще на стороне низкого напряжения) и длительном горении происходит разрушение консерватора, а затем корпуса трансформатора, в результате чего растекающееся масло создает угрозу соседним трансформаторам и устройствам. Выделяющийся дым осложняет обстановку, так как твердые его частицы осаждаются на влажных изоляторах, снижая их диэлектрические свойства, что приводит к перекрытию изоляторов и образованию новых очагов горения. Горение масла на трансформаторе приводит к разрушению других изоляторов, к падению токопроводов на землю. При этом корпус трансформатора может оказаться под напряжением. Наибольшие повреждения с разрывом корпуса трансформатора происходят при КЗ на входных или выходных токопроводах.

Пожары в распределительных устройствах (РУ) возникают в основном при авариях маслонаполненных аппаратов или из-за воспламенения изоляции. Из них наиболее пожароопасными являются: масляные выключатели,

трансформаторы (силовые, измерительные), реакторы и конденсаторы. Загорания в масляных выключателях чаще всего возникают при перекрытии между проходными изоляторами внутри выключателя или между изолятором и корпусом. В первом случае возможен разрыв корпуса, а во втором — прогар его и разлив горящего масла. Разрыв корпуса иногда бывает настолько сильным, что происходит срыв двери камеры и горение может распространиться по секции и в целом по всему РУ.

В процессе получения, транспортировки и преобразования электрической энергии в механическую, тепловую и другие виды энергии в результате аварий, ошибочных действий и халатности обслуживающего персонала возможно появление источников зажигания, природа которых основана на тепловом проявлении электрического тока. Так, из статистики пожаров следует, что пожары, связанные с эксплуатацией электроустановок, происходят главным образом от КЗ; от нарушения правил эксплуатации электронагревательных приборов; от перегрузки электродвигателей и электрических сетей; от образования больших местных переходных сопротивлений; от электрических искр и дуг.

9.2. Пожарная опасность электроустановок

Пожарная опасность электрических проводок и кабелей обусловлена возможным образованием в условиях эксплуатации источников зажигания: электрических искр, дуг, нагретых контактных соединений и токоведущих жил, частиц расплавленного металла и открытого огня воспламенившейся изоляции, а также способностью электрических проводок распространять горение вдоль их прокладки. Каждый из перечисленных источников зажигания характеризуется своими особенностями. Пожарная опасность нагрева

токоведущих жил заключается в опасности загорания изоляции, а также горючих материалов, находящихся в непосредственном контакте с электрической проводкой. Нагрев токоведущих жил может быть локальный, местный и общий.

Локальный нагрев — это такой нагрев, когда линейным размером зоны нагрева можно пренебречь. Местный нагрев — это нагрев, охватывающий часть длины проводника, а общий — нагрев, охватывающий весь проводник.

Локальный нагрев возникает при КЗ токоведущих жил в точке их касания. Если образуется контакт с большим переходным сопротивлением (например, при слабом нажатии), то выделяется большое количество теплоты, что ведет к быстрому нагреву контактной зоны. Нагрев может вызвать оплавление проводов в зоне контакта, 1 также их пережог. В действительности локальный нагрев токоведущих жил при их замыкании между собой происходит чрезвычайно быстро и может быть представлен как локальный тепловой удар. Скорость выделения теплоты в контактной точке настолько высока (порядка нескольких десятков тысяч градусов в секунду), что теплота, аккумулированная в токоведущих жилах в зоне КЗ, практически не передается в окружающую среду. Поэтому можно считать, что в зоне контакта в течение определенного промежутка времени, весьма малого по своей величине, существует очень высокая температура, близкая к температуре кипения металла. Учитывая, что температура нагрева токоведущих жил в зоне контакта очень высокая, следует ожидать воспламенения изоляции, находящейся вблизи зоны нагрева. Ее воспламенению способствует также тепловой эффект электрической дуги, которая, как правило, неизбежно возникает при КЗ. Возможность воспламенения изоляции в зоне КЗ определяется длительностью аварийного режима и временем, необходимым для подготовки изоляции к воспламенению (время индукции).

Местный нагрев электропроводов возможен в случае соединения проводов вскрутку без опрессовки. В этом случае процессы нагрева,

обусловливаемые местным увеличением переходного сопротивления, проходят медленно. Если температура нагрева проводов в месте скрутки превысит температуру самовоспламенения изоляции, то она воспламенится.

Общий нагрев токоведущих жил проводов происходит при прохождении тока, по своему значению превышающего номинальный. Выделяющаяся при этом теплота ведет к нагреву изоляции, которая при достижении температуры самовоспламенения воспламеняется.

Для транспортировки и распределения электроэнергии требуется соответствующее развитие электрических сетей, которое чаше всего идет по пути прокладки кабелей в виде пучков или кабельных потоков, сосредоточиваемых в специальных кабельных сооружениях. Однако это снижает надежность систем управления и энергоснабжения в случае пожара и повышает пожарную опасность. Пожары в кабельных сооружениях сопровождаются большими материальными потерями в виде стоимости сгорающих кабелей и проводов и косвенных убытков из-за остановки производства, нарушения энергоснабжения и недовыработки электрической энергии. Примером может быть пожар, происшедший на одной из строящихся электростанций в США, который возник от искр сварки, попавших на промасленную ветошь, лежавшую на кабелях, которые были уложены группами в желобах и трубах. Одна часть из них имела полиэтиленовую изоляцию и наружный покров из поливинилхлорида, а другая — изоляцию из бутилкаучука, а наружный по кров — из поливинилхлорида. Пожар получил быстрое развитие и за 3 - 3,5 ч было уничтожено и приведено в негодность свыше 1100 силовых кабелей и кабелей цепей управления.

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. В этих случаях машина перегревается равномерно.

Кроме того, случается, что в электродвигателях перегреваются только обмотки статора или ротора.

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. Потеря одной фазы возможна из-за обрыва проводников, нарушения плотности контактов, повреждения аппаратов (поломки, нарушения регулировки, подгорания контактов в магнитном пускателе), но чаще вследствие перегорания одной из плавких вставок в предохранителях. Установлено, что общее количество электродвигателей, вышедших из строя в результате работы на двух фазах, составляет 35—45 % общего числа повреждений электродвигателей на предприятиях.

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. В процессе эксплуатации электрических машин производственная пыль, попадая на обмотку, может образовывать проводящие мостики, которые вызывают перекрытие или пробой изоляции на корпус. Длительный перегрев электрических машин или работа в условиях

повышенных температур окружающей среды делает изоляцию обмоток хрупкой и гигроскопичной, что также может привести к КЗ и пробою на корпус машины.

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). Многие асинхронные электродвигатели не имеют зажимов на корпусе для подключения проводов. Поэтому провода соединяются с концами статорной обмотки обычной скруткой, опрессованием или с помощью болтов.

При эксплуатации электрических машин под действием вибрации, резких колебаний и толчков плотность контактов нарушается. В местах соединения проводов образуются большие переходные сопротивления, вызывающие местные нагревы, которые могут привести к воспламенению изоляции и пожарам. Переходные сопротивления у электродвигателей нередко вызывают сильные нагревы зажимов на коробке. При длительных нагревах изоляционный материал около зажимов прогорает, вследствие чего при смещении зажимов происходят КЗ, которые также могут быть причиной пожаров и загораний.

Особую пожарную опасность представляют искрение щеток и пригорание контактных колец у электрических машин, так как образующиеся искры могут вызвать загорание горючих материалов. Искрение щеток и пригорание контактных колец происходят по следующим причинам: поставлены щетки других марок по сравнению с указанными в паспорте; щетки плохо притерты или слабо прижаты к контактным кольцам; щетки не могут свободно двигаться в обойме щеткодержателя, что ухудшает контакт между контактными кольцами и щетками контактные кольца имеют неровную поверхность и поэтому вибрируют; контактные кольца и щетки загрязнены или замаслены.

В машинах постоянного тока при неправильном выборе и расположении щеток,

при больших нагрузках происходит усиление искрения. Воздух в зоне коллектора ионизируется, что при определенных условиях ведет к появлению пламени круговой формы. Причиной пожара может быть также перегрев подшипников электрических машин из-за недостаточной их смазки, перекосов вала и т. п. Чаще всего это наблюдается при использовании в машинах подшипников скольжения. Перегрев подшипников может настолько увеличить силы трения, что ротор электрической машины остановится. При этом поступающая электрическая энергия в обмотках машин полностью превращается в теплоту, которая может стать источником воспламенения изоляции и других горючих материалов.

9.3. Пожарная опасность электрических аппаратов управления и 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. 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 искрообразовання 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.

На предприятиях главным образом применяются трубчатые предохранители серий ПР-2. ПН-2, НПН и 11ПР. Предохранитель ПР-2 (предохранитель разборный) применяется в установках до 500 В на номинальные токи до 1000 А. На концах основной части предохранителя (фибровой трубки) насажены обоймы с резьбой, на которые навинчены колпачки для зажима контактных ножей; к этим ножам прикреплена плавкая вставка. При перегорании плавкой вставки цепь тока разрывается и внутри трубки образуется электрическая дуга. Под действием высокой температуры дуги значительная часть фибры разлагается и переходит в газообразное состояние; при этом газы способствуют быстрому гашению дуги. При правильном выборе плавких вставок предохранители ПР-2 достаточно надежны в работе. Однако случается, что из-за применения в предохранителях некалиброванной проволоки в качестве плавкой вставки происходит прогорание фибровой трубки и от вылетающих частиц расплавленного металла

возникают загорания. Плавкие вставки трубчатых предохранителей НПН (насыпной предохранитель неразборный) и НПР (насыпной предохранитель разборный) на такое же напряжение и номинальный ток от 60 до 200 А выполняют из одной или нескольких параллельных медных проволок Плавкая вставка помещена в закрытую фарфоровую трубку, заполненную кварцевым песком. При перегорании вставки дуга горит в узком канале, образованном в результате испарения металла плавкой вставки. Гашение дуги ускоряется при соприкосновении ее с кварцевым песком. Патроны предохранителей НПН не подлежат перезарядке и при перегорании плавких вставок должны заменяться новыми. Патроны предохранителей НПГ можно многократно перезаряжать после их срабатываний. В установках ниже 1000 В малой мощности примени ют пробочные предохранители. В них плавкая вставка припаяна к резьбе и центральному колпачку сменного элемента, который ввертывается в корпус предохранителя. Защита электрических сетей плавкими предохранителями несовершенна. Так, например, часто при перегорании одной из плавких вставок электродвигатели начинают работать на двух фазах и быстро выходят из строя. Такие предохранители довольно эффективно производят защиту электросети лишь при КЗ и менее эффективно — от перегрузок.

Попытки применять плавкие вставки с возможно меньшим номинальным током срабатывания ухудшают их стойкость к колебаниям токов при пусках, кратковременных перегрузках и т. д. Вначале такие предохранители выдерживают эти колебания, но постепенно из за повторяющегося процесса перегрева поверхность плавких вставок окисляется, их рабочее сечение уменьшается, что ускоряет перегорание плавких вставок.

Более совершенными аппаратами защиты от токов КЗ и перегрузок в электрических сетях являются автоматические воздушные выключатели. Их можно эпизодически использовать для ручного включения и отключения электрической сети. При неправильном монтаже и эксплуатации автоматические выключатели также могут явиться причиной пожара, так как

при разрыве цепи в них возникают электрические искры и дуги. Возможен нагрев их токоведущих частей от больших переходных сопротивлений.

9.4. Пожарная опасность электрических ламп накаливания общего назначения.

Электрические лампы накаливания (ЛН) общего назначения как источник света имеют чрезвычайно широкое применение. Их пожарная опасность 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 обусловливается 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. Примером может быть пожар, происшедший в вычислительном отделе Пентагона в г. Арлингтоне (штат Виргиния). Причина пожара — касание колбы лампы

накаливания акустического подвесного потолка, выполненного из листовой фибры. Ущерб составил около 6,7 млн. долл.

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 экспериментальных условиях возникновение дуговых разрядов в ЛН достигается с помощью повышенного напряжения. На практике, например, такие случаи возможны при не симметрии напряжения. Предотвращение аварийных режимов с образованием капель в результате расплавления электродов в ЛН общего назначения достигается установкой в них встроенных предохранителей.

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.

9.5. Пожарная опасность люминесцентных светильников.

В настоявшее время для освещения помещений широко применяют светильники с люминесцентными лампами. Пожароопасными элементами в

них 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 пробою 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.

9.6. Возникновение токов утечки в электроустановках.

Это явление связано с ухудшением изоляции, которое может быть вызвано высокой влажностью изоляции, агрессивностью окружающей среды и механическими повреждениями. Первоначально токи утечки незначительны. С течением времени они растут, что в конечном итоге приводит к КЗ. Процесс увеличения токов утечки можно представить следующим образом. Колебания температуры токоведущих элементов электроустановок приводят к конденсации влаги на поверхности изоляции. Возникают токопроводящие слои жидкости или перемычки. При наличии потенциала начинается прохождение тока утечки, значение которого определяется сопротивлением перемычек. Выделяется теплота, испаряющая влагу в зоне перемычек, причем содержащиеся в испаряющейся влаге соли остаются на поверхности. С испарением жидкости прохождение тока утечки прекращается. При повторных увлажнениях этот процесс происходит вновь, причем из-за повышения

содержания соли проводимость перемычек увеличивается. Ток утечки растет. Начинается обугливание изоляции вдоль токопроводящих перемычек, что в итоге ведет к их перекрытию. Возникшая электрическая дуга воспламеняет изоляцию, а также другие горючие материалы, оказавшиеся вблизи места КЗ (пыль, пух, солому и т. п.). Особенно характерно появление токов утечки в электроустановках сельскохозяйственного производства.

9.7. Особенности тушения пожаров в электроустановках.

При пожарах в кабельных туннелях, полуэтажах и каналах в результате сильного задымления, наличия напряжения на кабелях и высокой температуры, значительно превышающей допустимую для человека, обычно возникает обстановка, при которой невозможно проникновение пожарных в горящее помещение, а значительная протяженность таких помещений и малое количество проемов не позволяют быстро и точно определить площадь горения и направление его развития. В этой обстановке многое зависит от действий обслуживающего персонала, который должен своевременно принять меры к ограничению развития пожара, особенно в начальной стадии, для создания возможности проведения разведки пожарными подразделениями, быстрого сосредоточения сил и средств и их введения в зону горения.

Ограничение развития пожаров в кабельных помещениях и каналах может быть достигнуто своевременным снятием напряжения с кабельных линий аварийного участка, снижением интенсивности газообмена, изменением направления движения газовых потоков и устройством пенных экранов. К ограничению интенсивности газообмена прибегают при помощи имеющихся на объекте установок газового тушения, когда ввести другие огнетушащие средства в зону горения невозможно без продолжительных вспомогательных работ, например устройства дополнительных проемов в перекрытии, или когда

прибывших сил и средств недостаточно для локализации пожара. Снижение интенсивности газообмена может быть достигнуто путем герметизации помещений или отсеков. Особенно эффективен такой способ при тушении пожаров в туннелях с кабелями в маслозаполненных трубах. При использовании этого способа в туннелях с воздушной прокладкой кабелей происходит увеличение плотности дыма и усиленный прогрев изоляции кабелей вследствие интенсивного роста температуры в таком замкну том объеме. Поэтому герметизацией таких помещений достигнуть полного прекращения горения кабелей нельзя для ликвидации оставшихся очагов горения требуется в дальнейшем производить вскрытие дополнительных проемов для подачи средств пожаротушения.

К изменению направления движения газовых потоков с целью ограничения распространения горения в кабельных помещениях и каналах прибегают, когда точно установлено место горения, направление его распространения и имеется возможность направить продукты горения в безопасную или менее опасную зону или в желаемом направлении с учетом предполагаемого места ввода средств тушения.

Когда невозможно установить место горения и направление его распространения, по внешним признакам ориентировочно определяют участок, на котором возможно горение (по выходу продуктов горения, усиленному прогреву строительных конструкций), и изолируют его с помощью пенных экранов из пены средней кратности. Поскольку под воздействием температуры пена разрушается и уровень ее может снижаться, необходимо восстанавливать экран. Для этого на каждые 250 $м^3$ объема помещения (канала) достаточно задействовать один пеногенератор типа ГВП-600. Заполнение участков туннелей пеной является не только способом ограничения распространения огня и дыма, снижения интенсивности газообмена, но и хорошим средством для создания благоприятных условий ведения разведки пожарными подразделениями и подачи огнетушащих средств в зону горения. В качестве

экрана можно использовать также распыленные струи воды, подаваемые из различных стволов-распылителей или через стационарно установленные устройства, т. е. способ создания водяной завесы.

Для тушения пожаров в кабельных помещениях применимы почти все способы прекращения горения, но наиболее часто применяемыми и целесообразными являются объемное тушение с применением воздушно-механической пены (ВМП) средней кратности или водяного пара, а также тушение по поверхности распыленными струями воды и ВМП низкой кратности. Пена при тушении пожаров в туннелях растекается на небольшое расстояние.

Тушение способом охлаждения с применением воды или низкократной пены целесообразно, если имеется возможность проникновения человека в кабельное помещение для тушения очага пожара водяными или пенными струями. Поскольку проходы в туннелях узкие, а фронт горения небольшой, по туннелю в одном направлении больше двух стволов подавать нецелесообразно. Для обеспечения эффективного использования пены средней кратности необходимо правильно выбирать направление и места ввода генераторов. Основными путями подачи пены в туннель являются люки, двери и вентиляционные шахты. При определении проемов, которые предполагается использовать для подачи пены и удаления дыма, необходимо учитывать следующее. Если очаг горения расположен между двумя люками, расстояние между которыми не превышает 50 м, то целесообразно через ближайший к очагу горения люк подавать пену, а другой использовать для удаления дыма. При пожаре в отсеке кабельного туннеля длиной 70—120 м, выделенном перегородками и имеющем люки для подачи пены, целесообразно использовать для этой цели средние люки, а для выпуска дыма — крайние. Если двери в таком отсеке открыты, то пену подают в крайние люки. При горении кабелей в маслонаполненных трубах, проложенных в наклонной галерее, подавать пену следует снизу вверх.

При возникновении пожаров в машинных залах основной задачей по ограничению распространения пожара является защита от воздействия теплового потока емкостей с маслами, баллонов с газами, коммуникаций масляных систем, водородного охлаждения, турбин, генераторов, а также предотвращение образования взрывоопасных смесей в объеме помещения.

При горении внутри генератора (синхронного компенсатора) с водородным охлаждением необходимо отключить его, снять возбуждение с помощью автомата гашения поля, подать азот или углекислый газ в систему охлаждения для вытеснения из нее водорода. Если при этом произошла разгерметизация генератора, а водород выходит наружу и горит, необходимо дополнительно обеспечить подачу распыленной воды или пены на охлаждение поверхностей около зоны горения и организовать удаление дыма из помещения.

При горении в гидрогенераторе или генераторе с воздушным охлаждением вначале производится его отключение и гашение поля, а затем внутрь подается вода через стационарную систему трубопроводов или из ручных стволов. Использование для тушения пожара внутри генераторов или синхронных компенсаторов пенных и химических огнетушителей не допускается.

Для тушения разлившегося масла из-за нарушения уплотнения в подшипниках, фланцевых соединениях маслосистемы и при горении кабельных трасс у турбогенераторов следует применять распыленную воду, а также воздушно-механическую пену пои условии соблюдения правил техники безопасности. При наличии у маслобаков турбогенераторов стационарной установки орошения обслуживающий персонал должен немедленно приводить ее в действие.

Поскольку пожары при повреждении маслосистем сопровождаются интенсивным задымлением помещений, а подача воды и пены в таких условиях возможна только при снятом напряжении с аварийных и защищаемых

электроустановок, первоочередными мерами являются удаление дыма и подготовка средств пожаротушения. Количество сил и средств должно быть достаточным для ликвидации горения жидкости воздушно-механической пеней с интенсивностью подачи раствора пенообразователя не менее 0,06 л-м-2-с Кроме того, нужно вводить водяные струи из лафетных стволов для защиты металлических ферм покрытия, а также стволов-распылителей типа А для защиты коммуникаций и соседних блоков. В таких случаях подлежат обесточиванию соседние турбогенераторы и шины мостового крана.

Тушение пожаров в маслогалереях машинных залов гидравлических электростанций осуществляется в основном воздушно-механической пеной, подаваемой стационарной установкой тушения, а также через систему трубопроводов такой установки от насосов пожарных автомобилей. Можно тушить и переносными пенными стволами, подаваемыми от соседних блоков через специальные отверстия в дверях.

Пожары, возникающие от взрывов турбин, котлоагрегатов, водородных и масляных систем, являются наиболее разрушительными и сложными в ликвидации. Большое количество очагов повреждения электрических, масляных и водородных систем создает множество очагов горения. Выход пара из паровой системы затрудняет доступ в помещения, создает опасность ожогов и снижает видимость. В такой обстановке необходимо в первую очередь ликвидировать отдельные очаги горения и защищать от огня неповрежденные помещения и агрегаты, а также предотвращать новые взрывы и обрушения. При тушении в таких случаях используются в основном лафетные стволы (производительность около 25 л-с-1) и пеногенераторы типа ГВП-2000.

Основными средствами тушения пожаров трансформаторов являются воздушно-механическая пена, распыленная вода и порошковые составы. Во всех случаях при горении масла на трансформаторе или под ним необходимо отключать его от сети со стороны высокого и низкого напряжений, снять остаточное напряжение и заземлить. После снятия напряжения тушение пожара

можно производить любыми средствами (распыленной водой, пеной, порошками). При горении масла на крыше трансформатора у проходных изоляторов его необходимо ликвидировать распыленными струями воды, низкократной воздушно-механической пены или порошковыми составами. Если поврежден корпус трансформатора в нижней части и происходит горение под ним, то горение масла ликвидируется пеной, а масло следует спустить в аварийный резервуар. В случае воздействия пламени на корпус соседнего трансформатора его необходимо защищать распыленными струями воды.
Спуск масла из соседних трансформаторов обычно не производят, так как пустой корпус более благоприятен для горения обмоток и опасен в отношении взрыва.

Пожары трансформаторов в закрытых взрывных ячейках ликвидируются аналогично, но, кроме того, имеется возможность заполнения объема ячейки пеной средней кратности, паром или инертным газом. При этом ячейки не открывают, а пеногенератор вводят через предварительно вскрытые вентиляционные решетки.
В некоторых случаях тушение пожаров трансформаторов водой исключается из-за невозможности сооружения систем противопожарного водоснабжения или в связи с большими капитальными затратами. В этих случаях среди имеющихся в настоящее время на вооружении пожарной охраны огнетушащих средств наиболее эффективными являются сухие порошковые составы.

При внутреннем повреждении трансформатора с выбросом масла через выхлопную трубу или через нижний разъем (в случае среза болтов или деформации фланцевого соединения) и последующем возникновении пожара внутри трансформатора средства пожаротушения следует подавать внутрь него через верхние люки и через деформированный разъем.
При развившемся пожаре на трансформаторе необходимо также защищать от воздействия высокой температуры с помощью водяных струй несущие металлические конструкции, проемы и находящееся вблизи

электрооборудование; при этом с ближайшего оборудования, находящегося в зоне действия водяной струи (особенно ее компактной части), должно быть снято напряжение и оборудование должно быть заземлено.

При возникновении пожара на трансформаторе не допускается производить слив из него масла, так как это может привести к повреждению внутренних обмоток и значительно усложнит тушение пожара.

Пожары на трансформаторных подстанциях тушат также при помощи пены средней кратности. В этих случаях тушение начинают с ликвидации горения разлившегося около трансформатора масла, а после этого пеногенераторы переводят для подачи пены непосредственно на поверхности трансформатора.

При пожарах в распределительных устройствах горение изоляции кабелей, муфт, воронок может быть ликвидировано воздушно-механической пеной, водой, двуокисью углерода, порошковыми и галоидопроизводными составами. Горение масла ликвидируется аналогично вышеописанному. При горении изоляции аварийная камера должна быть во всех случаях отключена от системы сборных шин. При тушении пожара внутри помещений рекомендуется применять стволы-распылители малой производительности, поскольку требуемая интенсивность подачи огнетушащего средства обычно незначительна, а излишнее количество пролитой воды и особенно пены может послужить причиной перекрытия фаз, пробоев изоляции и КЗ.

Для успешной борьбы с пожарами в распределительных устройствах часто возникает необходимость удаления дыма и снижения температуры в помещениях. Для этой цели обычно используются дымососы, имеющиеся на вооружении пожарных подразделений; дымососы следует использовать для работы на выброс с отводом дыма за пределы помещения. При удалении дыма дымососами необходимо, чтобы все жалюзийные решетки в здании были закрыты, а дверные проемы защищены брезентовыми перемычками.

9.8. Тушение пожаров в электроустановках с соблюдением мер защиты от поражения электрического тока.

При тушении пожаров в электроустановках возникает опасность поражения человека электрическим током. Особенно это касается электроустановок, находящихся под напряжением 127 В и более. Поражение электрическим током может наступить в результате непосредственного прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, или попадания под напряжение шага.

Однако наиболее вероятным и частым случаем поражения является тот, при котором в процессе тушения струя воды, пены или другого огнетушащего средства достигает частей электроустановки, находящихся под напряжением. При этом по телу человека в землю пойдет ток, значение которого зависит от сопротивления струи огнетушащего средства, сопротивления тела человека, сопротивления между телом человека и землей, сопротивления пожарных рукавов и сопротивления между пожарными рукавами и землей. При всех прочих равных условиях значение этого тока зависит прежде всего от сопротивления струи. Только при обеспечении соответствующего значения этого сопротивления можно добиться уменьшения тока утечки до безопасного для жизни человека значения..

Исходя из этого, подавать воду и пену на тушение электроустановок необходимо только при снятом напряжении. Как исключение допускается подача огнетушащих средств на электроустановки, находящиеся под напряжением до 10 кВ включительно, но при соблюдении следующих мер безопасности: вода должна подаваться компактными или распыленными струями только на открытые для обзора работающего с пожарным стволом токонесущие части установок; ствол должен быть заземлен, должны быть

надеты диэлектрические боты (сапоги) и перчатки, расстояния от человека до этих токоведущих частей должны быть меньше регламентированных (таблица 9).

Таблица 9. Минимально допустимые расстояния до токоведущих частей

Номинальное напряжение, кВ	Диаметр насадка, мм	Минимально допустимое расстояние, м
До 1,0	4,0	3,5
От 1 до 3	6,5	4,0
От 3 до 10	8,0	4,5

Рабочий ствол у спрыска пожарного ствола надежно заземляется гибким медным проводом сечением не менее 10 мм^2 с использованием одиночного заземлителя или общего контура.

Минимально допустимые расстояния от электроустановок, находящихся под напряжением, определяют, исходя из безопасного значения силы тока. Предельно допустимым принято считать ток 1 мА. При максимальной силе тока 1 мА и электропроводности воды 500 См-м^2 определяющим параметром при выборе минимального расстояния от очага пожара является диаметр насадка пожарного ствола. Исследования показали, что при орошении токоведущих частей электрических установок до 380 кВ водой из ствола с насадком диаметром 12 мм ток утечки не превышает 1 мА при давлении, создаваемом пожарным насосом, 5—10 кгс-см~2 (0,5—1,0 МПа) и минимальном расстоянии между насадком ствола и токоведущей частью установки 12 м. Полученные значения справедливы для проводимости воды до

1000 См-м-1, а для более высоких показателей электропроводности они не всегда действительны. Исследования проводились без учета вышеуказанных требований о заземлении ствола и работе ствольщика в диэлектрических ботах и перчатках.

В зарубежной практике иногда пользуются следующим правилом при тушении пожаров в электроустановках: диаметр насадка (в мм) должен быть равен минимально допустимому расстоянию (в м) от очага пожара. Однако в этом случае снижается эффективность тушения, поскольку получаемое расстояние сопоставимо с дальностью полета струи из пожарного ствола. Необходимо учитывать, что при применении для тушения пожара воды с удельным сопротивлением менее 1000 Ом-см указанные в таблице расстояния следует увеличивать в 1,3 раза.

Применение струй морской и сильно загрязненной воды для тушения пожаров на электроустановках не допускается. Так, в опытах, проведенных в Германии по тушению пожара на электроустановке 6 кВ, было установлено, что при использовании чистой водопроводной воды сила электрического тока на расстоянии 1,5 м практически равна нулю, но при добавке 0,5 % соды при прочих равных условиях она достигает 50 мА. Применение морской воды не рекомендуется вообще даже при снятом напряжении из-за ее коррозионных свойств.

Наиболее безопасной является подача воды распыленными струями. Для подачи воды на тушение электроустановок в окружении электрооборудования, находящегося под напряжением, необходимо использовать только перекрывные стволы. Опыты с пеногенераторами показали, что при одинаковых условиях ток утечки через струю воздушно-механической пены кратностью 100—200 превышает ток утечки через струю воды. Поэтому подача пены на токонесущие части электроустановок возможна лишь при заземлении не только генераторов, но и насосов, подающих раствор пенообразователя. По зарубежным данным воздушно-механическую пену разрешается применять

при тушении пожаров электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, лишь в том случае, если соблюдаются следующие безопасные расстояния: при орошении электропроводок — 1 м, при орошении линий электропередачи — 3 м. В электроустановках с номинальным напряжением выше 1 кВ воздушно-механическую пену допускается применять лишь после их отключения. Кроме воды и пены применяются для тушения электроустановок порошковые и галоидоуглеводородные составы, электропроводность которых незначительна. Не разрешается применять компактные струи для тушения пожаров в помещениях тракта топливоподачи. Это может привести к взвихриванию пыли и взрыву. Тушение пожара в этих помещениях производится распыленными струями.

При наличии напряжения недопустимо проникновение людей при тушении за ограждения электроустановок, а при отсутствии ограждений необходимо выдерживать минимальное расстояние, на которое допускается приближение к токоведущим частям. Эти расстояния составляют (таблица10)

Таблица 10. Минимальные расстояния

Напряжение	Расстояние (м)
до 15 кВ	0,7
от 15 до 35 кВ	1,0
от 35 до 110 кВ	1,5
от 110 до 220 кВ	2,5
от 220 до 500 кВ	4,5

Недопустимо пребывание людей в задымленных помещениях с электроустановками под напряжением, когда невозможно визуально установить безопасные расстояния. При тушении маслонаполненного оборудования (трансформаторов, выключателей и др.) могут произойти выбросы раскаленных

газов через образовавшиеся при аварии отверстия. Находиться вблизи таких отверстий опасно.

При тушении пожаров в электроустановках возможны: случайное прикосновение человека к токоведущим частям электроустановки; попадание под напряжение в результате возникновения аварийных режимов в электроустановках.

Тушение пожаров в электроустановках может производиться:

а) при полном снятии напряжения;

б) с частичным снятием напряжения;

в) без снятия напряжения вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением;

г) без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Обычно работой при полном снятии напряжения считается такая работа, которая производится в открытой или расположенной в отдельном помещении электроустановке, где со всех токоведущих частей снято напряжение выше 1000 В. Работой с частичным снятием напряжения считается работа, производящаяся на открытой электроустановке или электроустановке (или части ее), расположенной в отдельном помещении, с которой снято напряжение толь ко с ее аварийной части.

Работой без снятия напряжения вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением, называется такая работа, при которой необходимо принятие особых мер, предотвращающих возможность приближения пожарных, подачи струй воды, пены или расстановки при меняемых механизмов на опасное расстояние к частям, находящимся под напряжением. Работой без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, считается такая работа, при которой полностью исключена возможность случайного приближения пожарных, техники, струй пены или воды к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Для безопасного выполнения работ, связанных с тушением пожаров в электроустановках, с полным или частичным снятием напряжения в электроустановках станций, подстанций и сетей, должны быть выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие случайной подаче напряжения к месту тушения пожара;
- вывешены на рукоятках коммутационных аппаратов запрещающие плакаты: «Не включать — работают люди» или «Не включать — работа на линии»;
- присоединены к заземляющему устройству переносные заземления (закоротки), после чего должно быть проверено отсутствие напряжения на отключенных для производства работы токоведущих частях, на которые были наложены заземления.

Работы по тушению пожаров во всех случаях должны производиться с выполнением всех технических мероприятий, обеспечивающих безопасность.

Список литературы

1. Касаткин А.С. Электротехника : учеб. для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. - 11-е изд., стер. ; Гриф МО. - М. : Академия, 2007. - 539 с.
2. Немцов М.В. Электротехника : учеб. пособие для сред. учеб. заведений / М.В. Немцов, И.И. Светлакова. - Гриф МО. - Ростов н/Д : Феникс, 2004. - 572 с.
3. Борисов Ю.М. Электротехника : учеб. пособие для вузов / Ю.М. Борисов, Д.Н. Липатов, Ю.Н. Зорин. - Изд.3-е, перераб. и доп. ; Гриф МО. - Минск : Высш. шк. А, 2007. - 543 с
4. Григораш О.В. Электротехника и электроника : учеб. для вузов / О.В. Григораш, Г.А. Султанов, Д.А. Нормов. - Гриф УМО. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 462 с
5. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники : учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / Е.А. Лоторейчук. - Гриф МО. - М. : Форум: Инфра-М, 2008. - 316 с.
6. Федорченко А. А. Электротехника с основами электроники : учеб. для учащ. проф. училищ, лицеев и студ. колледжей / А. А. Федорченко, Ю. Г. Синдеев. - 2-е изд. - М. : Дашков и К°, 2010. - 415 с.
7. Катаенко Ю. К. Электротехника : учеб. пособие / Ю. К. Катаенко. - М. : Дашков и К° ; Ростов н/Д : Академцентр, 2010. - 287 с.
8. Москаленко В.В. Электрический привод : Учеб. пособие для сред. проф. образования / В.В. Москаленко. - М. : Мастерство, 2000. - 366 с.
9. Савилов Г.В. Электротехника и электроника : курс лекций / Г.В. Савилов. - М. : Дашков и К°, 2009. - 322 с.
10. Синдеев Ю. Г. Электротехника с основами электроники : учеб. пособие для проф. училищ, лицеев и колледжей / Ю. Г. Синдеев. - Изд. 12-е, доп. и перераб. ; Гриф МО. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 407 с.
11. Евдокимов, Ф.Е. Теоретические основы электротехники: учеб. для средн. проф. обр. / Ф.Е. Евдокимов – М.: Academia, 2004. – 560 с.
12. Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники / И.А. Данилов –М.: Высш .шк., 2000. – 752 с.
13. Глазенко Т.А. Электротехника и основы электроники . 1996 год.
14. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника . 1990 год.
15. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники . 2004 год.
16. Журавлева Л.В. Электроматериаловедение . 2001 год.
17. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

18. Приказ Минэнерго РФ от 13.01.2003 N 6 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 22.01.2003 N 4145).
19. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.07.2013 № 328н «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».
20. Правила устройства электроустановок. 7 издание (утв. Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204).
21. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
22. ГОСТ 12.1.018-93 Пожароопасность статического электричества.
23. ГОСТ 12.0.004-99 Электрооборудование взрывозащитное. Общие требования.
24. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
25. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление и зануление.