МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ ГАУ)

Кафедра «Физическая культура, спорт и техносферная безопасность»

С.М. Пятикопов, И.Э. Липкович,
Н.В. Петренко, И.В. Егорова

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

Зерноград, 2025
© Егорова И.В., Пятикопов С.М., Петренко Н.В., Липкович И.Э., 2025
© Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025

Об издании – 1, 2
Содержание

УДК 614.825 (075.8)

Издается по решению методического совета Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде.

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент **Мартынов А.П.**

кандидат технических наук, доцент **Пономарева Н.Е.**

Электробезопасность [Электронное издание]: учебное пособие / И.В. Егорова, С.М. Пятикопов, Н.В. Петренко, И.Э. Липкович, А.С. Гайда. – Электрон. дан. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025. – 247 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Учебное пособие содержит основные определения и понятия электробезопасности. Проведен анализ опасностей сельскохозяйственных сетей с различными видами нейтрали. Приведены технические и организационные мероприятия по обеспечению безопасности в электроустановках сельского хозяйства. Рассмотрены действия при оказании первой помощи пострадавшим от электрического тока. Приведены лабораторные работы и практические задания.

Предназначено для студентов направления 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника и 20.03.01 – Техносферная безопасность.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры ФКС и ТБ
Протокол № 2 от 06.10.2025 г.

Рассмотрено и одобрено методическим советом
Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ протокол № 2 от 22.10.2025г.

© Егорова И.В., Пятикопов С.М., Петренко Н.В., Липкович И.Э., 2025
© Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ 5
1 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 6
2 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ..... 8
2.1 Общие положения 8
2.2 Действие электрического тока на организм человека и сельскохозяйственных животных 8
2.3 Факторы, влияющие на исход поражения током 12
2.4 Классификация электроустановок и помещений но степени опасности поражения электрическим током 17
2.5 Явления при стекании тока в землю 18
2.6 Технические способы и средства обеспечения электробезопасности..... 22
3 АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКРТИЧЕСКИМ ТОКОМ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 28
3.1 Общие положения..... 28
3.2. Однофазные сети..... 33
3.2.1 Сеть, изолированная от земли..... 33
3.2.2 Сеть с заземленным проводом..... 36
3.3 Трехфазные сети 38
3.3.1 Трехфазная четырехпроводная сеть с нейтралью, заземленной через активное и индуктивное сопротивления 38
3.3.2 Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью 41
3.3.3 Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью 44
3.4 Особенности сетей с глухим заземлением нейтрали 48
3.5 Повторное заземление нулевого провода 49
4 ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ..... 52
4.1 Защитное заземление 52
4.1.1 Принцип действия защитного заземления 52
4.1.2 Конструкции заземляющих устройств 58
4.1.3 Нормирование сопротивления заземляющих устройств 64
4.1.4 Расчет искусственных заземлителей в однородном грунте 68
4.1.5 Расчет искусственных заземлителей в двухслойном грунте 73
4.1.6 Проверка заземляющих устройств 78
4.2 Зануление 82
4.2.1 Принцип защитного действия зануления 82
4.2.2 Конструктивное выполнение зануления 87
4.2.3 Расчет зануления 90
4.2.4 Экспериментальная проверка зануления 95
4.3 Защитное отключение и другие меры защиты от поражения током

при повреждениях электроустановок 96
4.3.1 Защитное отключение 96
4.3.2 Случаи обязательного использования УЗО-Д 99
4.3.3 Применение двойной изоляции, защитного разделения сетей и малого (сверхнизкого) напряжения 101
4.3.4 Классификация электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения током 104
4.3.5 Уравнивание и выравнивание потенциалов, изолирующие площадки 105
4.3.6 Защита от опасности перехода на провода с напряжением 380/220 в более высокого напряжения 111
5 ОБЩИЕ ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ 113
5.1 Общие положения 113
5.2 Требования к персоналу и его подготовка 114
5.3 Организационные мероприятия обеспечивающие безопасность работ 122
5.4 Технические мероприятия обеспечивающие безопасность работ .. 128
5.5 Особенности правил электробезопасности при работе в электроустановках напряжением до 1000 В 137
5.6 Применение защитных средств при работе в электроустановках ... 139
5.7 Основные особенности требований электробезопасности в животноводстве 141
5.8 Основные особенности правил электробезопасности при работах на ВЛ 145
5.9 Особенности требований электробезопасности в жилых и общественных зданиях 148
5.10 Особенности обеспечения электробезопасности передвижных электроустановок 150
6 МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 153
6.1 Необходимость молниезащиты 153
6.2 Категории молниезащиты 154
6.3 Типы и устройство молниеотводов 156
6.4 Типовые расчеты молниеотводов 157
6.5 Молниеприемники, токоотводы и заземлители молниезащиты 162
6.6 Защита от статического электричества 164
7 ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА 168
8 ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ 177
Лабораторная работа №1 178
Лабораторная работа №2 184
Лабораторная работа №3 192
Лабораторная работа №4 215
Лабораторная работа №5 223

9 ЗАДАНИЕ ПО РАСЧЕТУ ЗАЗЕМЛЕНИЯ…….. 234
ЛИТЕРАТУРА …….. 239
ПРИЛОЖЕНИЕ…….. 241

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время электрический ток представляет наибольшую опасность для здоровья и жизни людей.

Установлено, что наибольшее число несчастных случаев происходит в результате допуска к работе с электрическими устройствами необученного персонала и пренебрежительного отношения работающих к средствам защиты.

В сельском хозяйстве ежегодно от электрического тока погибает примерно 2500 человек, то есть риск смерти от тока равен $R=1{,}72\cdot10^{-5}$, что втрое больше, чем в среднем на Земле ($R=5\cdot10^{-6}$). Доля электротравм среди всей совокупности несчастных случаев на производстве составляет в РФ 11,8%, то есть каждая десятая травма связана с электрическим током.

Несмотря на то, что доля электроэнергии потребляемой сельским хозяйством составляет порядка 25%, общая доля электротравм в сельском хозяйстве составляет порядка 32%.

Если рассматривать распределение электротравм по напряжением установок, то примерно 75% травм приходится на долю сетей напряжением до 1000В, а 25% на сети напряжением свыше 1000В. Это объясняется тем, что число установок до 1000В в сельском хозяйстве гораздо больше и обслуживающий персонал сталкивается с ними гораздо чаще.

Поражение электрическим током возможно по следующим причинам:

-случайное прикосновение человека (или приближение на опасное расстояние) к токоведущим частям, находящимся под напряжением;

-случайное прикосновение человека к металлическим нетоковедущим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением;

-случайное попадание человека в зону растекания тока при замыкании фазы на землю;

-действие электрической дуги, атмосферного и статического электричества, электромагнитного поля.

Сложность технологических процессов, высокие требования к точности технологических режимов в значительной мере исключают возможность непосредственного воздействия на технологические процессы для повышения электробезопасности.

Поэтому центр тяжести мероприятий переносится на создание новых технологий, а также устройств, снижающих вредное влияние технологических процессов на обслуживающий персонал, на создание эффективных организационных и управленческих воздействий.

1 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время динамика экономического развития сельского хозяйства требует повышения производительности производства. Для этого необходимо увеличение мощностей, строительство новых перерабатывающих комплексов, применение нового оборудования. В настоящее время энерговооруженность сельскохозяйственного производства достаточна велика.

Повсеместный перевод сельскохозяйственного производства на индустриальную основу сопряжен с резким увеличением потребления электроэнергии. Нет таких отраслей сельскохозяйственного производства, где бы не использовалась электрическая энергия. Ежегодно вводятся в эксплуатацию энергоемкие объекты с большим электрохозяйством. Оснащенность сельскохозяйственных предприятий электрооборудованием значительно возрастает. Хозяйства получают новую высокопроизводительную сельскохозяйственную технику для ферм и объектов переработки сельхозпродукции.

В сельском хозяйстве значительно расширилась область применения разнообразных технологических электроустановок, содержащих электрический привод машин и механизмов, электроосвещение и облучение, электронагрев и специальные электротехнологии. Их применение позволяет увеличить производительность и улучшить условия труда, повысить надежность и качество работы технологического оборудования, наиболее полно реализовать прогрессивные технологии и, в конечном итоге, снизить энергетические, материальные и трудовые затраты на производство сельскохозяйственной продукции.

Отличительной особенностью эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственного производства заключается в наличии большого количества вредных и опасных факторов, оказывающих влияние, как на человека, так и непосредственно на электроустановки.

Если рассматривать эксплуатацию электроустановок по условиям окружающей среды, то в сельском хозяйстве присутствуют все категории.

Наиболее безопасные условия эксплуатации электрооборудования в котельных, инкубаторах, отапливаемых складах, венткамерах, электрощитовых. Здесь небольшая относительная влажность, практически невозможна конденсация паров влаги. В ремонтных мастерских, неотапливаемых складах пары влаги могут выделяться периодически и в небольших количествах. В таких электроустановках поражение электрическим током происходит в основном из-за нарушения правил техники электробезопасности и эксплуатации электрооборудования, т.к. окружающая среда не оказывает сильного негативного влияния на технологические процессы.

Цехи по переработки продуктов животноводства, плодов и овощей, помещения для содержания животных и птицы относятся к категории сырых помещений. В них относительная влажность более 75% и имеются пары влаги, способные конденсироваться при небольших понижениях температуры.

К особо сырым помещениям можно отнести кормоприготовительные цехи для влажных кормов, овощехранилища, теплицы, моечные отделения, а также наружные установки. Для них характерна относительная влажность близкая к 100%, потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении покрыты влагой.

Склады минеральных удобрений содержат пары аммиака, сероводорода и других невзрывоопасных газов, которые действуют разъедающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

В таких помещениях помимо нарушения правил техники безопасности и эксплуатации электрооборудования поражение электрическим током возможно при использовании электрооборудования с нарушенной изоляцией, несоответствующей степенью защиты от влаги.

Выполнение многих технологических процессов в сельском хозяйстве связано с выделением пыли в воздух рабочей зоны. К пыльным помещениям относятся цехи по дроблению и приготовлению сухих концентрированных кормов, склады сыпучих негорючих материалов, пункты послеуборочной обработки зерна.

Пыль оседает на проводах, проникает внутрь машин, аппаратов загрязняя электрооборудование, тем самым, увеличивая вероятность возникновения ненормальных режимов его работы и появления коротких замыканий.

Помимо прямого поражения электрическим током в сельском хозяйстве встречается много технологических процессов с взрывоопасными и пожароопасными производствами. К взрывоопасной категории А относятся склады бензина, карбида кальция, окрасочные камеры ремонтных мастерских. Наиболее распространены взрывоопасные производства категории Б (цехи по приготовлению травяной муки и комбикормов) и пожароопасные В (зерносушилки, элеваторы зерна) где выделение пыли напрямую способствует возникновению пожаров и взрывов, образуя взрывоопасные смеси,

Одной из причин возникновения пожаров и взрывов является нарушение правил эксплуатации электрических сетей и электрооборудования. Чаще всего пожары и взрывы вызывают тепловые источники зажигания: искры, электрическая дуга или нагретая поверхность. Искры, образующиеся при электрическом разряде, имеют температуру до 1000°С. При нарушении целостности изоляции, могут произойти короткие замыкания, сопровождающиеся нагревом проводником до температур достаточных для воспламенения и взрыва.

Термины и определения основных понятий в области электробезопасности приведены в приложении 1.

2 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

2.1 Общие положения

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту человека и животных от опасного и вредного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Она должна обеспечиваться конструкцией электроустановки, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями на стадиях проектирования, монтажа и эксплуатации при строгом выполнении требований нормативно–технической документации (ПУЭ, ПТЭ, ПТБ и др.).

Опасность электрического тока в отличие от прочих опасностей усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно как, например, движущиеся части, раскаленные объекты, открытые люки и т.п.

Опасность обнаруживается слишком поздно – когда человек или животные уже поражены.

2.2 Действие электрического тока на организм человека и сельскохозяйственных животных

Виды поражения электрическим током

Действие электрического тока на живую ткань носит своеобразный и разносторонний характер. Тело человека и животных нельзя отнести ни к проводникам первого рода (металлы) ни к проводникам второго рода (электролиты).

Проходя через организм человека или животного электрический ток, производит термическое, электролитическое и механическое (динамическое) действия, являющиеся обычными физико-химическими процессами, присущими как живой, так и неживой материи. Одновременно электрический ток производит и биологическое действие, которое является специфическим процессом, свойственным лишь живой ткани.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, что вызывает их серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока выражается в разложении органической жидкости, в том числе и крови, что сопровождается значительными нарушениями ее физико-химического состава.

Механическое действие тока выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждений различных тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов и др.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоло-

гических процессов и жизненных функций организма. То есть воздействие на биологически активные точки организма (БАТ). В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушения и даже полное прекращение деятельности органов кровообращения и дыхания.

Многообразие действия электрического тока на организм приводит к электротравмам, которые условно можно разделить на два вида: местные электротравмы, когда возникает местное повреждение организма и общие электротравмы, так называемые электрические удары, когда поражается весь организм из–за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы

Местная электротравма – ярко выраженное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги.

Характерные местные электротравмы составляют 75% случаев поражения людей.

К ним относятся: электрические ожоги, электрические знаки (электрометки), металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

В таблице 2.1 приведено процентное распределение этих случаев по видам травм.

Таблица 2.1 – Процентное распределение видов электротравм

Электротравмы	%
Электрические ожоги	40
Электрические знаки	7
Металлизация кожи	3
Механические повреждения	0,5
Электроофтальмия	1,5
Смешанные, т.е. ожоги с другими местными	23
ВСЕГО	75

Электрическим ожог – самая распространенная электротравма: ожоги возникают у большей части пострадавших (60%...65%) от электрического тока, причем почти треть из них сопровождается другими травмами.

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

Токовый ожог обусловлен прохождением тока непосредственно через тело (термическое действие) в результате контакта с токоведущей частью и является следствием преобразования электрической энергии в тепловую. Токовые ожоги возникают в электроустановках напряжением не выше 2 кВ являются в большинстве случаев ожогами I или II степени , иногда возникают тяжелые ожоги. При более высоких напряжениях (>1000В) между токоведущей частью и человеком образуется электрическая дуга, которая и обуславливает возникновение **дугового ожога,** который, как правило, носит тяжелый

характер III или IV степени.

Электрические знаки (электрометки) представляют собой четко очерченные пятна серого или бледно–желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшегося действию тока. Обычно знаки имеют круглую или овальную форму и размеры 1...5 мм с углублением в центре. Бывают знаки в виде царапин, небольших ран, бородавок. Иногда форма знака соответствует форме токоведущей части, которой коснулся пострадавший, а при воздействии грозового разряда — напоминают фигуру молнии. Обычно электрические знаки безболезненны и лечение их заканчивается благополучно. Эти знаки появляются у 11 % пострадавших от тока.

Металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под воздействием электрической дуги. Такое явление встречается при коротких замыканиях, отключениях разъединителей и рубильников под нагрузкой. Металлизация кожи наблюдается у 10% пострадавших от электрического тока. В большинстве случаев одновременно с металлизацией возникает дуговой ожог, который почти всегда вызывает более тяжелые поражения, чем металлизация.

Механические повреждения возникают в результате резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей. Механические повреждения являются серьезными травмами, требующими длительного лечения.

Электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз, возникающее в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей, которые энергично поглощаются клетками организма и вызывают в них химические изменения. Такое облучение возможно при наличии электрической дуги (короткое замыкание, электросварка).

Электроофтальмия развивается спустя 2–6 ч. после облучения. При этом имеют место покраснение и воспаление слизистых оболочек век, слезотечение, гнойные выделения из глаз и частичное ослепление. Пострадавший испытывает сильную головную боль, резкую боль в глазах, усиливающуюся на свету, т.е. у него возникает так называемая светобоязнь. Поэтому для предупреждения электроофтальмии при обслуживании электроустановок необходимо применять защитные очки с обычными стеклами, которые почти не пропускают ультрафиолетовые лучи и обеспечивают защиту глаз от брызг расплавленного металла.

Электрический удар

Электрический удар –это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. При электрических ударах исход воздействия тока на организм может быть различным – от легкого, едва ощутимого сокращения мышц пальцев руки до прекращения работы сердца или легких, т.е. до смертельного поражения.

Электрические удары условно разделяют на четыре степени: 1 – судо-

рожное сокращение мышц без потери сознания; 2– судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца; 3– потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или давления (или того и другого); 4– клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения.

Клиническая (мнимая) смерть – переходный период от жизни к смерти, наступающий с момента прекращения деятельности сердца и легких; в большинстве случаев она составляет 4–5 мин., при гибели здорового человека от электрического тока 7–8 мин. Вот почему при оказании до врачебной помощи рекомендуется не терять времени, а действовать оперативно. Причины смерти от электрического тока могут быть: прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок. При прекращении работы сердца оно может остановиться или наступить его фибрилияция.

Фибрилияция – это хаотическое разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл) до 800 в минуту, при которых сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам.

Прекращение дыхания вызывается непосредственным, а иногда и рефлекторным воздействием тока на мышцы грудной клетки, участвующие в процессе дыхания. При токе 20–25мА(50Гц) человек начинает испытывать затруднение дыхания, которое усиливается с ростом тока. При длительном действии такого тока (несколько минут) наступает – асфиксия (удушье).

Электрический шок – своеобразная тяжелая нервно–рефлекторная реакция организма в ответ на сильное раздражение электрическим током, сопровождающаяся глубоким расстройством кровообращения, дыхания, обмена веществ и т.п.

Действие электрического тока на организм сельскохозяйственных животных в общих чертах совпадает с действием на организм человека. Однако есть и существенные отличия как во внешнем проявлении воздействия тока, так и в объективных реакциях организма. Это связано со строением тела и физиологическими особенностями животных, а также с топографией приложения напряжения, во многом обусловленной способом их содержания. Все тело животных: за исключением носового зеркала, покрыто густой шерстью, обладающей высоким поверхностным удельным сопротивлением. Животные стоят на четырех ногах или лежат. Расстояние между передними и задними ногами значительное. Копыта животных практически всегда влажные, и это резко снижает их сопротивление.

Все случаи поражения человека (животных) током в результате электрического удара являются следствием прикосновения человека не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, значением тока, проходящего через тело человека, или напряжением, под которым оказывается человек, т. е. напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, от напряжения сети, схемы самой сети, условий эксплуатации, степени изоляции токоведущих частей от земли.

Существует несколько наиболее характерных случаев приложения напряжения к телу животных:

– между носовым зеркалом и конечностями, если животные пытаются пить из поилок, оказавшихся под напряжением относительно земли (или пола);

– между передними и задними ногами, когда животные стоят на земле или полу в зоне растекания тока;

– у крупного рогатого скота - между шеей и всеми четырьмя ногами при привязном способе содержания и использовании металлических привязей, оказавшихся под напряжением.

Если животное попадает под напряжение по схеме «носовое зеркало - ноги», то в зависимости от значения напряжения прикосновения либо рефлекторно отдергивает голову (при напряжении до 20–25 В), либо падает. В обоих случаях цепь тока быстро разрывается и животное, как правило, не получает серьезной электротравмы. При приложении напряжения «шагового» (между передними и задними ногами), а также по схеме «шея - ноги» по мере роста напряжения последовательно наступают реакции: ощущение покалывания (проявляется в нарастающем беспокойстве), судорожное сокращение мышц ног («подкашивание», приводящее к падению), фибрилляция сердца.

Систематическое воздействие на животных даже сравнительно низких напряжений, не представляющих какой-либо угрозы для их жизни, оказывает тем не менее на них вредное физиологическое влияние. Так у дойных коров при длительном или систематическом воздействии на них напряжения от 4 В наблюдается задержка молокоотдачи, приводящая к существенному (до 30 % и более) уменьшению продуктивности; при откорме – уменьшаются привесы и т. п.

2.3 Факторы, влияющие на исход поражения током

Основные факторы, определяющие степень поражения электрическим током – сопротивление человеческого тела, напряжение прикосновения, время воздействия электрического тока на живой организм. Кроме этого, на исход поражения человека электрическим током влияют путь прохождения, род и частота тока, индивидуальные свойства пострадавшего и факторы окружающей среды. Рассмотрим эти факторы.

Сопротивление тела человека

Сопротивление живого организма электрическому току по своей природе отличается от сопротивления проводников и полупроводников, оно определяется не только физическими, но и биологическими факторами.

Известно, что кожа человека состоит из наружного рогового слоя (эпидермиса) с находящимся под ним сосочковым слоем. При сухой, неповрежденной коже сопротивление составляет 10000–100000 Ом, в то время как при снятом роговом слое 800...10000 Ом, а сопротивление кожи уменьшается с увеличением тока и временем его протекания в цепи поражения из–за нагрева кожи и повышения интенсивности потовыделения. На сопротивление

тела оказывает влияние площадь контактов, а также место их приложения, так как у одного и того же человека сопротивление кожи неодинаково на разных участках тела.

Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи, рук на участках выше ладоней и в особенности на стороне, обращенной к туловищу, в подмышечных впадинах, на тыльной стороне ладони и др.

Сопротивление тела человека падает при увеличении значения тока и длительности за счет усиления местного нагрева кожи, что приводит к расширению ее сосудов, а следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению потовыделения.

Повышение напряжения, приложенного к телу человека уменьшает в десятки раз сопротивление кожи, а следовательно и сопротивление тела в целом, которое приближается к своему минимальному значению 300...500 Ом. Это можно объяснить электрическим пробоем рогового слоя кожи, который происходит при напряжении 50...200 В, увеличением тока проходящего через кожу (за счет повышения приложенного напряжения) и др.

Род и частота тока также влияют на значение электрического сопротивления. При частотах 10–20 кГц наружный слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току.

Значение тока, проходящего через тело человека

Электрический ток, проходящий через тело человека, есть один из основных факторов, обуславливающих исход поражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него переменного тока величиною 0,5..1,5 мА. Этот ток и называют пороговым ощутимым.

При токах 10–15 мА человек не может оторвать рук от электропроводов, самостоятельно разорвать цепь поражающего его тока.

Такой ток принято называть (пороговым) неотпускающим, а меньшего значения отпускающим.

Пороговый неотпускающий ток условно можно считать безопасным для человека с точки зрения мгновенного действия. Однако при длительном прохождении ток растет, за счет уменьшения сопротивления тела, в результате чего усиливаются боли и могут возникнуть серьезные нарушения работы легких и сердца, что приводит к летальному исходу. По данным В.Е. Манойлова 42% смертельных исходов произошли при токах до 10 мА. При токе 100 мА и более наступает фибрилляция сердца, через 1–2сек. с начала его воздействия.

При частоте 50 Гц фибрилляционными являются токи в пределах от 100 мА до 5А, а пороговым фибрилляционным током 100 мА. При постоянном токе порогом фибрилляции считается ток 300 мА.

Характер воздействия электрического тока в зависимости от его величины и рода приведён в таблице 2.2.

Следует иметь в виду, что эти данные справедливы при условии, когда ток протекает по пути рука–рука или рука-ноги. При токах более 5А, как правило, происходит немедленная остановка сердца и паралич дыхания.

Таблица 2.2 – Характер воздействия электрического тока

Ток, проходящий через тело человека, мА	Переменный (50 Гц) ток	Постоянный ток
1	2	3
0,5–1,5	Начало ощущений: слабый зуд, пощипывание кожи	Не ощущается
2–4	Ощущение распространяется на запястье; слегка сводит мышцы	Не ощущается
5–7	Болевые ощущения усиливаются во всей кисти; судороги; слабые боли во всей руке до предплечья	Начало ощущений: слабый нагрев кожи под электродами
8–10	Сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье. Руки трудно оторвать от электродов	Усиление ощущения нагрева кожи.
10–15	Едва переносимые боли во всей руке. Руки невозможно оторвать от электродов. С увеличением продолжительности протекания тока усиливаются	Значительный нагрев под электродами и в прилегающей области кожи
20–25	Сильные боли. Руки парализуются мгновенно, оторвать их от электродов невозможно. Дыхание затруднено.	Ощущение внутреннего нагрева, незначительное. сокращение мышц рук.
25–50	Очень сильная боль в руках и в груди. Дыхание крайне затруднено. При длительной воздействии может наступить остановка дыхания или ослабление сердечной деятельности с потерей сознания	Сильный нагрев, боли и судороги в руках. При отрыве рук от электродов возникают сильные боли
50–80	Дыхание парализуется через несколько секунд, нарушается работа сердца. При длительном воздействии может наступить фибрилляция сердца	Очень сильный поверхностный и внутренний нагрев. Сильные боли в руке и в области груди. Руки невозможно оторвать от электродов из-за сильных болей при отрыве

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
80–100	Фибрилляция сердца через 2–3 с; еще через несколько секунд – остановка дыхания.	То же действие, выраженное сильнее. При длительном действии остановка дыхания.
300	То же действие за меньшее время	Фибрилляция сердца через 2–3 с; еще через несколько секунд остановка дыхания
Более 5000	Фибрилляция сердца не наступает; возможна временная остановка его в период протекания тока. При протекании тока в течение нескольких секунд тяжелые ожоги и разрушение тканей.	

Следует иметь в виду, что эти данные справедливы при условии, когда ток протекает по пути рука-рука или рука-ноги.

При токах более 5А, как правило, происходит немедленная остановка сердца и паралич дыхания.

Ток, проходящий через тело человека, зависит от его сопротивления и напряжения прикосновения. Напряжение в свою очередь влияет на сопротивление тела человека. При низких значениях напряжения сопротивление почти целиком зависит от кожи, поверхностный слой которой может рассматриваться как тонкий и сравнительно совершенный диэлектрик, а мышцы и кровь – как проводник. Сопротивление кожи зависит от напряжения, потому, что уже при напряжении 10...42В начинается пробой верхнего рогового ее слоя. При напряжении 127...220В и выше кожа почти не влияет на сопротивление тела, но следует иметь ввиду, что, прикасаясь к фазному проводу напряжением 220В человек оказывается только под воздействием части этого напряжения, другая часть теряется на сопротивление обуви, полов.

Известны случаи, когда даже напряжение 12В вызывает смерть.

Длительность прохождения тока через человека

Существенное влияние на исход поражения оказывает длительность прохождения тока через тело человека. Чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного поражения. Объясняется это рядом причин и, в частности тем, что с увеличением времени воздействия тока на живую ткань этот ток увеличивается (за счет уменьшения сопротивления тела), накапливаются последствия прохождения тока через организм, и повышается вероятность совпадения момента прохождения тока через сердце с особенно уязвимой для тока фазой Т сердечного цикла (кардиоцикла).

Если длительность прохождения тока равна или превышает время кардиоцикла (0,75–1с), то ток «встречается» с фазой работы сердца, в том

числе с наиболее уязвимой фазой Т; это весьма опасно для организма. Если же время воздействия тока меньше кардиоцикла на 0,2 с или более, то вероятность совпадения момента прохождения тока с фазой Т, а следовательно, и опасность поражения резко уменьшаются.

Предельно-допустимые значения напряжений и токов в зависимости от длительности воздействия при частоте 50 Гц приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Предельно-допустимые значения напряжений и токов в зависимости от длительности воздействия

Время действия, сек.	Величина тока, мА	Величина напряжения, В
Длительно	1	6
До 30	6	36
1	50	50
0,5	100	100
0,2	250	250
0,1	500	500

Для переменного тока с частотой 400 Гц при длительности воздействия более 1с предельно-допустимое значение напряжения будет 36В, тока – 8мА.

Для постоянного тока при длительности воздействия более 1с предельно-допустимое значение напряжения будет 40В, тока – 15мА.

Путь тока в теле человека

Путь, по которому ток проходит в теле человека, играет существенную роль в исходе поражения. Так, если на пути тока оказываются жизненно важные органы : сердце, легкие, головной мозг то опасность поражения весьма велика, поскольку ток воздействует непосредственно на них. Если же ток проходит иными путями, то воздействие его на жизненно важные органы может быть лишь рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему, благодаря чему вероятность тяжелого исхода резко уменьшается.

Возможных путей тока в теле человека (петли тока) очень много. Но наиболее часто встречающиеся являются следующие: правая рука – ноги, левая рука – ноги, рука – рука и нога – нога.

Петли рука–рука возникает в 40% случаев, правая рука – ноги –20%, левая рука – ноги 17%, нога–нога –6%, голова – ноги– 4%. Поскольку различные части кожи имеют различное сопротивление, поэтому исход поражения зависит от того, какими участками тела пострадавший прикоснется к токоведущим частям.

Род и частота тока, проходящего через человека

Постоянный ток примерно в 4–5 раз безопаснее переменного тока часто той 50Гц. Это вытекает из сопротивления пороговых ощутимых токов (5–7мА для постоянного и 0,6–1,5 мА для переменного тока 50 Гц), а также неотпускающих (50–80 мА для постоянного и 10–15 мА для переменного тока

50 Гц).

Все это справедливо лишь для небольших напряжений: до 250–300 В. При более высоких напряжениях постоянный ток более опасен, чем переменный с частотой 50Гц.

Значительно меньшая опасность поражения постоянным током подтверждается и практикой эксплуатации электроустановок: случаев смертельного поражения людей током в установках постоянного тока в несколько раз меньше, чем в аналогичных установках переменного тока.

С увеличением частоты переменного тока, проходящего через человека, полное сопротивление тела человека уменьшается, следовательно, при этом происходит увеличение тока через человека.

Поскольку опасность поражения растет вместе со значением тока, проходящего через человека, можно сделать вывод, что увеличение частоты ведет к повышению этой опасности. Однако действительность показывает, что этот вывод справедлив лишь в пределах частот от 0 до 50–60 Гц; дальнейшее же повышение частоты, несмотря на рост тока, проходящего через человека сопровождается снижением опасности поражения током, которая полностью исчезает при частоте 450–500 кГц, но эти токи опасны ожогами, как в случае возникновения электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через человека.

2.4 Классификация электроустановок и помещений по степени опасности поражения электрическим током

Поскольку сопротивление тела человека непостоянно, трудно оценить условия безопасности по току, который может проходить через тело человека при электропоражении. Поэтому электроустановки классифицируются по значению напряжения. Различают установки с номинальным напряжением до и выше 1000В.

Безопасность обслуживания электрооборудования зависит от характера среды, в которой оно работает. Например, жара и влажность, агрессивная среда способствует как быстрому ухудшению изоляции, так и снижению сопротивления кожи человека.

В соответствии с требованием ПУЭ помещения по степени опасности поражения электрическим током делят на три класса.

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствует признаки помещений двух других классов, т.е. условия создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, имеющие один из следующих признаков : сырые, то есть с относительной влажностью длительно превышающей 75%; с токопроводящей пылью; с токопроводящими полами (земляные, железобетонные, кирпичные, сырые деревянные) жаркие (с температурой более 35°С постоянно или периодически – более 1 сут.); с возможностью одновременного прикосновения человека к металлическим корпусам

электрооборудования, с одной стороны и к соединенным с землей металлоконструкциям здания или механизмам – с другой.

3. Помещения особо опасные, имеющие один из следующих признаков: особо сырые (относительная влажность воздуха близка к 100%, при этом потолок, стены и все предметы покрыты влагой); с химически активными парами, газами или плесенью, грибками, разрушающими изоляцию; имеющие одновременно два или более признаков помещений с повышенной опасностью.

К помещениям первого из этих классов относятся, например, учебные классы, конторы и др. Ко второму классу можно отнести, например, склады с земляными полами, а к третьему теплицы, бани, коровники, кормоцеха и т.д.

К особо опасным помещениям приравниваются территории размещения наружных электроустановок.

2.5 Явления при стекании тока в землю

Стекание тока в землю происходит через проводники, имеющие непосредственный контакт с землей. Это могут быть специально установленные заземлители корпусов электроустановок, случайно упавшие на землю поврежденные электрические провода, электропроводные опорные части оборудования, установленного на землю. Причиной появления тока на корпусах машин и агрегатов могут быть пробой изоляции и замыкание токоведущих частей на корпус.

Стекание тока в землю сопровождается образованием в грунте вокруг элемента, связывающего электроустановку с землей (чаще всего заземлителя), потенциала, величина которого убывает с увеличением расстояния от места стекания тока, так как земля имеет сопротивление. Приняв для простоты анализа, что заземлитель имеет полусферическую форму, а грунт во всем объеме однороден и имеет, следовательно, одинаковое электрическое сопротивление, получим картину изменения потенциала в земле вокруг заземлителя (рисунок 2.1).

Ток в земле растекается от заземлителя во все стороны пространства одинаково равномерно, а ее потенциал изменяется по мере удаления от места стекания тока в любой вертикальной плоскости, проходящей через ось заземлителя, по зависимости, описываемое *уравнением гиперболы*

$$\varphi_x = \varphi_з \cdot \frac{r}{x}$$

где φ_x – потенциал земли на расстоянии x от места стекания тока на землю;

$\varphi_з = I_з \cdot R_р$ – потенциал заземлителя;

$I_з$ – ток замыкания на землю;

$R_р$ – сопротивление растеканию тока в земле;

r – радиус заземлителя.

Пространство изменения указанного потенциала описывается телом вращения, образуемым гиперболой относительно вертикальной оси (см. рисунок 2.1).

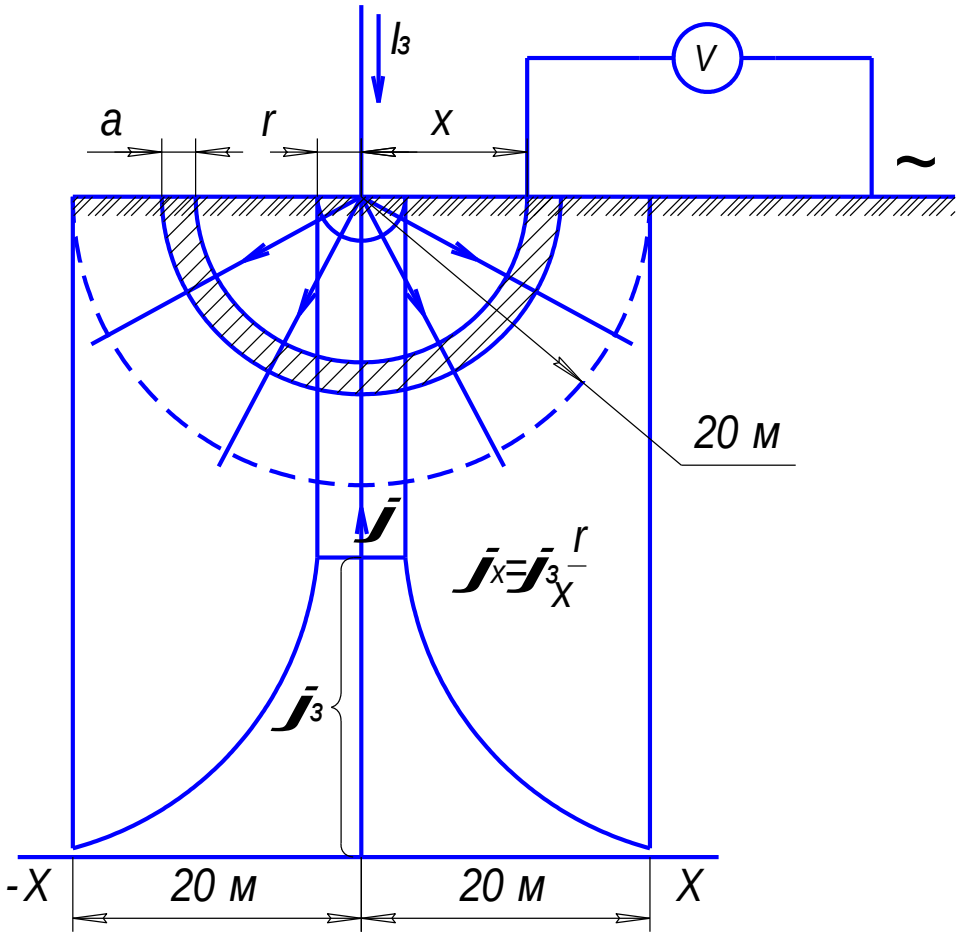
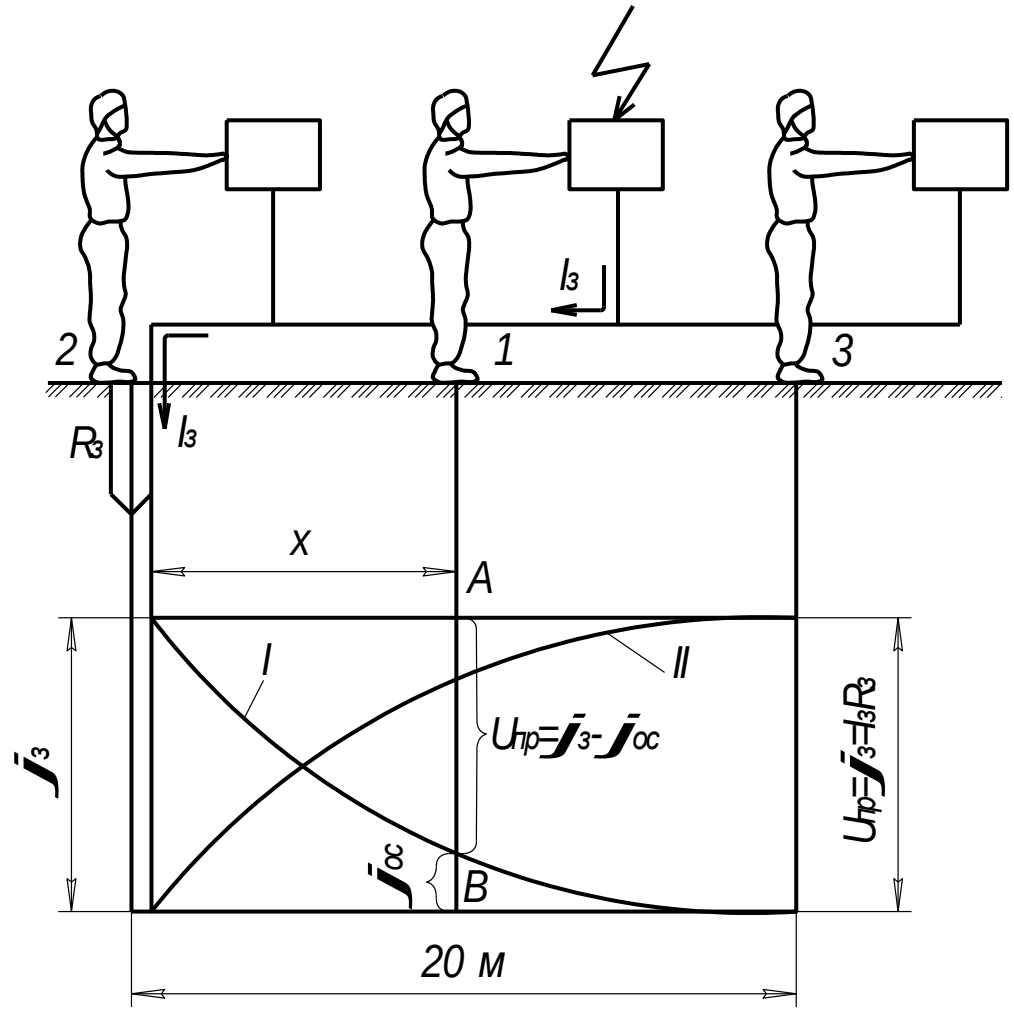


Рисунок 2.1 – Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя



I – потенциальная кривая; II – кривая, характеризующая изменение напряжения прикосновения при изменении расстояния от заземлителя

Рисунок 2.2 – Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе

На расстоянии более 20 м от места стекания тока на землю дальнейшим уменьшением потенциала земли можно пренебречь. Это расстояние принято называть *зоной нулевого потенциала*.

Напряжение прикосновения $U_{пр}$ для человека, стоящего на земле и касающегося руками оборудования, имеющего связь с землей, например, через заземление, определяется выражением

$$U_{пр} = U_P - U_H,$$

где $U_р$ – потенциал рук;

$U_н$ – потенциал ног.

Потенциал рук равен потенциалу на корпусе установки, которого работающий касается, а ног – потенциалу основания (земли), на котором он стоит. В нормальных условиях эксплуатации $U_P - U_H = 0$.

При пробое изоляции токоведущих частей корпус оказывается под напряжением $U_к$, соответственно $U_р = U_к$. Потенциал ног различен для рабочих мест, расположенных на разном расстоянии от места стекания тока на

землю. В непосредственной близости от него $U_н = I_з \cdot R_з$, а на больших расстояниях $U_н$ = 0 (случай 3). Поэтому величина напряжения прикосновения минимальна в 1 и максимальна во 2 случае ($\varphi_{ос}$ – потенциал ног для точки 1). График изменения напряжения прикосновения с увеличением расстояния от места стекания тока на землю приведен на рисунке 2.2. Напряжение прикосновения определяет силу тока в петле руки-ноги.

Напряжение шага также связано с изменением потенциала земли при стекании тока на землю. При нахождении человека в зоне с изменяющимся потенциалом земли каждая из его ног оказывается под разным напряжением (рисунок 2.3).

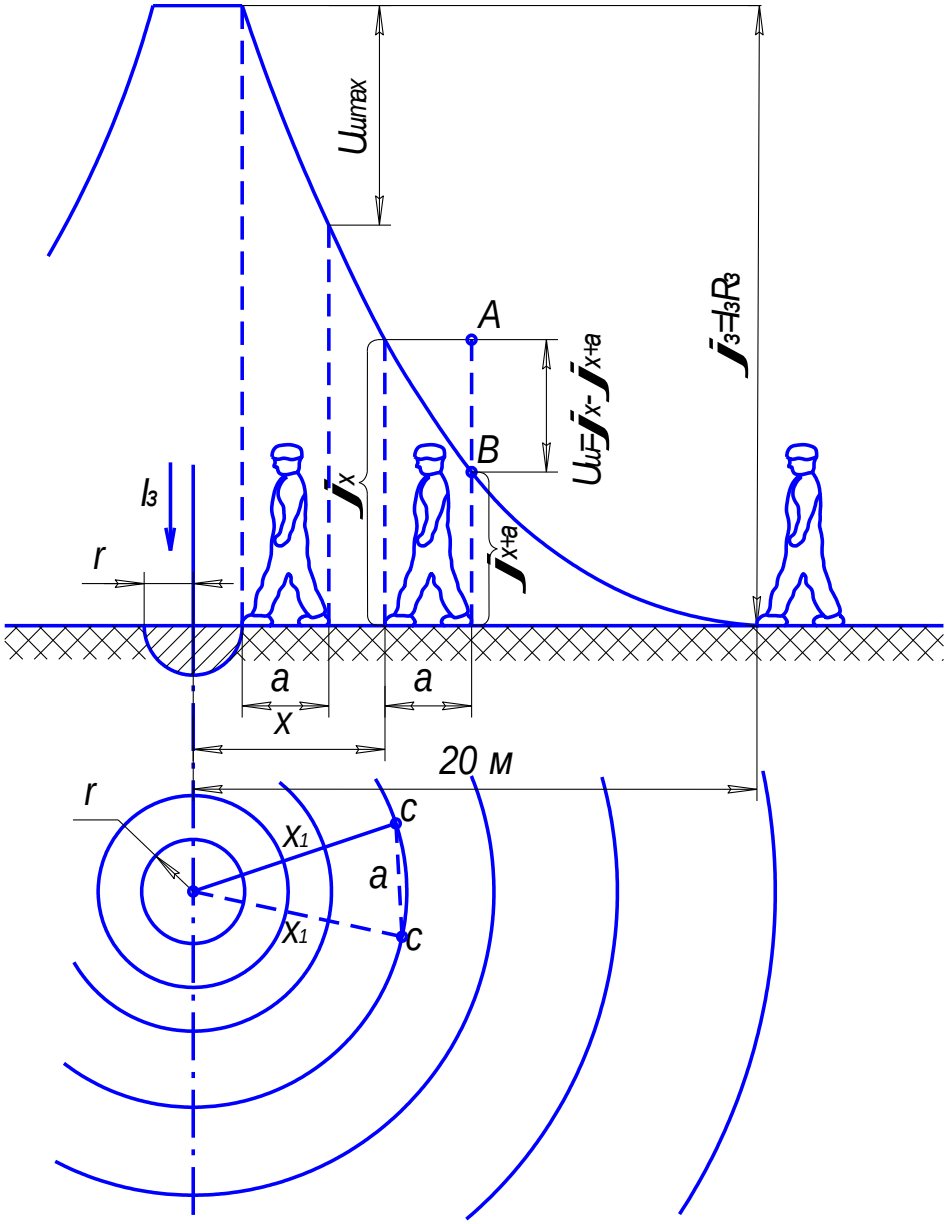


Рисунок 2.3 – Напряжение шага при одиночном заземлителе

Напряжение шага определяется по формуле

$$U_ш = \varphi_x - \varphi_{x+a},$$

где φ_x – потенциал ноги, находящейся на расстоянии x от места стекания тока;

φ_{x+a} – потенциал ноги, находящейся на расстоянии x + a от места стекания тока;

a – величина шага.

Так как между двумя точками земли, которых касаются ноги человека в зоне растекания тока, появилась разность потенциалов, возникает электрическая цепь нога-нога.

2.6 Технические способы и средства обеспечения электробезопасности

В настоящее время в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (далее – ПУЭ) все электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на:

– электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;

– электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;

– электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;

– электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

Общей характеристикой питающей сети и электроустановки является система заземления.

В соответствии с ГОСТ Р 50571.2–94 и ПУЭ дана следующая классификация электроустановок напряжением до 1000 В в отношении применяемых систем заземления:

– система TN* –система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников

– система TN–C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рисунок 2.4);

– система TN–S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рисунок 2.5);

---

* В обозначениях используются начальные буквы французских слов: T (terre) –заземлено; N (nenlre) – присоединено к нейтрали источника; I (isole) – изолировано.

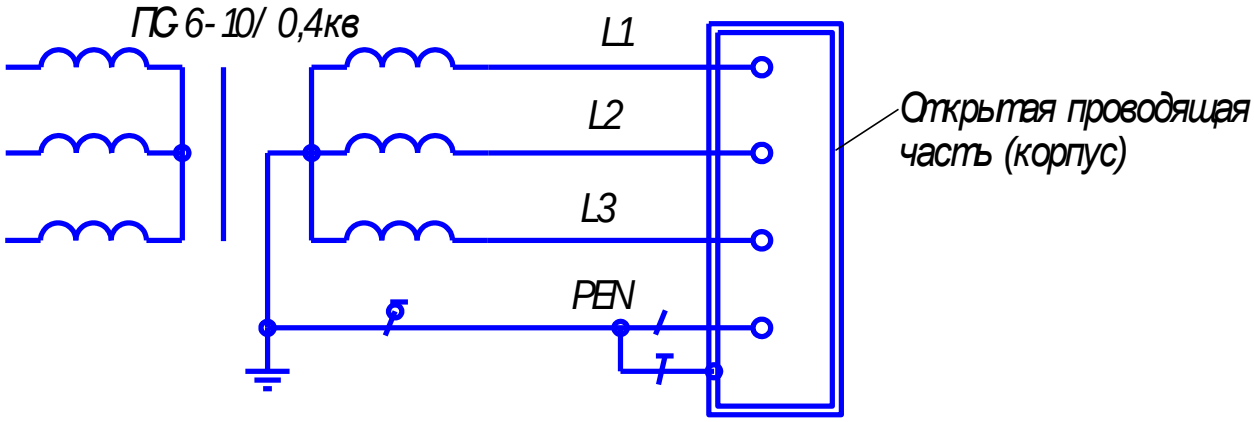


Рисунок 2.4 – Система TN–C – нулевые рабочий и защитный проводники совмещены в проводник PEN

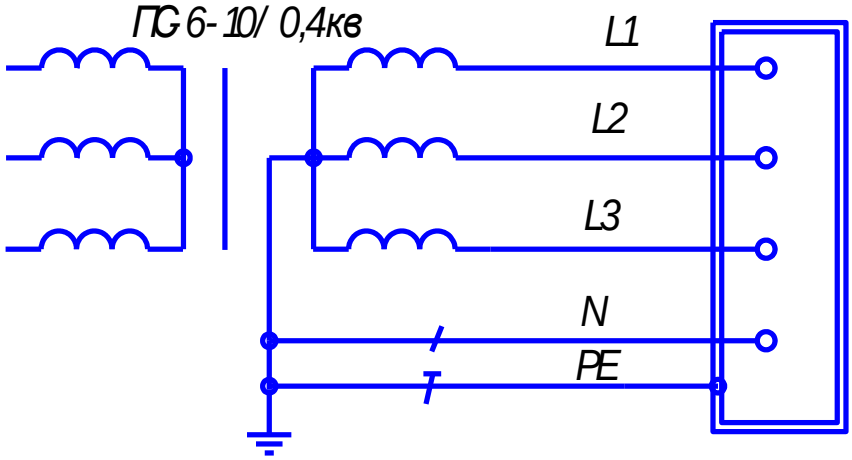


Рисунок 2.5 – Система TN–S – нулевой рабочий проводник N и нулевой защитный проводник PE разделены

– система TN–C–S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой–то ее части, начиная от источника питания (рисунок 2.6);

– система IT – система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены (рисунок 2.7);

– система TT – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рисунок 2.8).

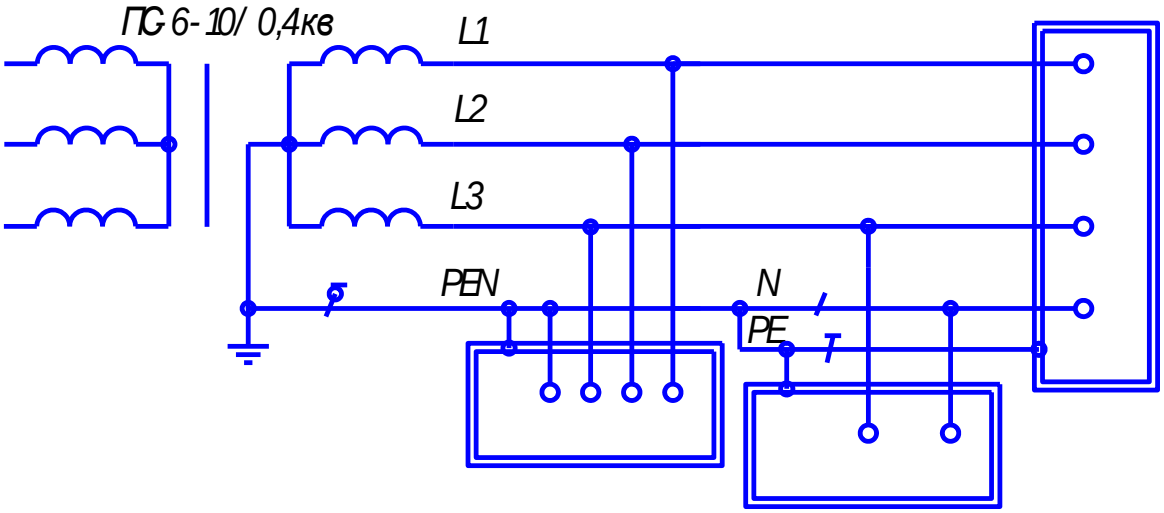


Рисунок 2.6 – Система TN–C–S – нулевые проводники на головных участках сети объединены в PEN–проводник, а далее разделены на проводники PE и N

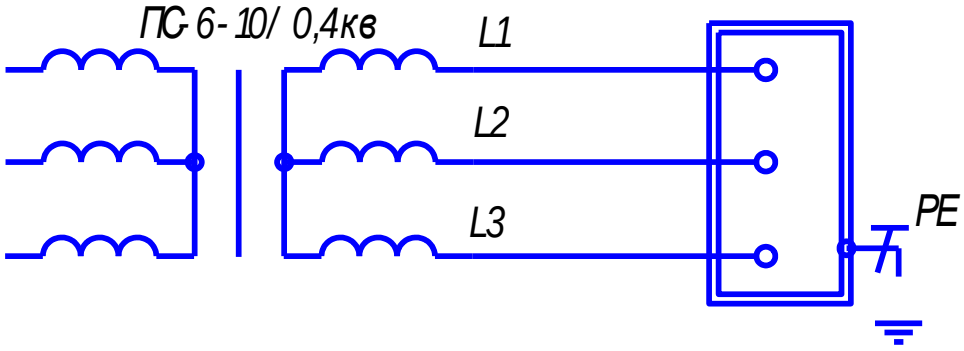


Рисунок 2.7 – Система IT

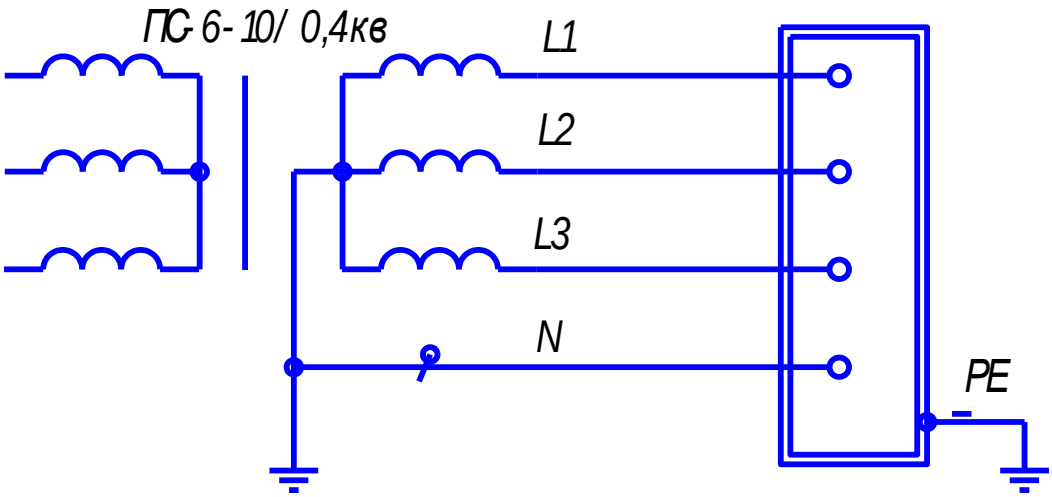


Рисунок 2.8 – Система TT

В обозначениях: – первая буква указывает режим работы нейтрали источника питания, а вторая – режим работы нейтрали открытых проводящих

частей (металлических корпусов) электрооборудования или первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли (Т – заземленная нейтраль, I –изолированная нейтраль), а вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли (Т – открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой–либо точки питающей сети; N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего (N) и нулевого защитного проводника (PE):

S – нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены;

C – функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников совмещены в одном проводнике (PEN– проводник).

В системе TN–S все открытые проводящие части электроустановки соединяются с отдельным нулевым защитным проводником (PE) непосредственно присоединенным к заземляющему устройству источника питания.

В системе TN–C–S во внутреннем распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник (PEN) разделен на нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводники, Нулевой защитный проводник (PE) соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, *в то время как нулевой рабочий (*N*) проводник не должен иметь соединения с землей.*

Поражение электрическим током происходит в результате прикосновения или приближения на недопустимое расстояние к частям электроустановок, находящимся или оказавшимся под напряжением.

Прикосновения к неизолированным токоведущим частям, находящимся под напряжением (оголенные провода, клеммы, шины и т. п.), называют **прямыми**; прикосновения к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (металлические корпуса электрооборудования), называют **косвенными.**

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании *следующие меры защиты от прямого прикосновения:*

– основная изоляция токоведущих частей;

– ограждения и оболочки;

– установка барьеров;

– размещение вне зоны досягаемости;

– применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

– защитное заземление;

– автоматическое отключение питания*;

– уравнивание потенциалов;

– выравнивание потенциалов;

– двойная или усиленная изоляции;

– сверхнизкое (малое) напряжение;

– защитное электрическое разделение цепей;

– изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока – во всех случаях.

Автоматическое отключение питания предусматривает выполнений защитного заземления открытых проводящих частей и монтаж системы уравнивания потенциалов, обеспечивающей соединение сторонних проводящих частей между собой, а также их соединение с открытыми проводящими частями и с заземляющим устройством электроустановки здания. То есть, в соответствии с требованиями стандартов МЭК, защитное заземление не является мерой защиты от поражения электрическим током в низковольтных электроустановках.

Термин – «защитное зануление», определенный в п. 1.7.31 ПУЭ для электроустановок напряжением до 1 кВ, предусматривает «преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности».

Рассматриваемый термин не применяется в стандартах МЭК. В них используется термин «защитное заземление», который подразумевает не только соединение открытых проводящих частей с заземляющим устройством низковольтных электроустановок, соответствующих типам заземления системы TT и IT, но и их соединение с нулевыми защитными проводниками, имеющими в системах TN электрический контакт с заземленными токоведущими частями источников питания.

** В п. 413 ГОСТ Р 50571.3, который разработан на основе стандарта МЭК 60364–4–41, в качестве меры защиты предусмотрено автоматическое отключение питания и другие меры, за исключением защитного заземления и уравнивания потенциалов.*

Иными словами, защитное зануление эквивалентно защитному заземлению, выполняемому в системах TN. Так как защитное зануление выполняется в низковольтных электроустановках, оно не является самостоятельной мерой защиты и поэтому не указано в п. 1.7.51 ПУЭ.

В помещениях с электроустановками напряжением до 1 кВ не требуется защита от прямого прикосновения при одновременном выполнении следующих условий:

– эти помещения отчетливо обозначены, и доступ в них возможен только с помощью ключа;

– обеспечена возможность свободного выхода из помещения без ключа, даже если оно заперто на ключ снаружи;

– минимальные размеры проходов обслуживания соответствуют ПУЭ, гл. 4.1. Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

Контрольные вопросы

1. Что такое электробезопасность?

2 Назовите виды поражения электрическим током.

3 Какие бывают местные электротравмы?

4 Назовите факторы влияющие на исход поражения током.

5 Перечислите основные технические способы и средства обеспечения электробезопасности.

3 АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

3.1 Общие положения

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, т. е. прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, током, проходящим через тело человека I_h, или напряжением, под которым он оказывается, т. е. напряжением прикосновения $U_{пр}$, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

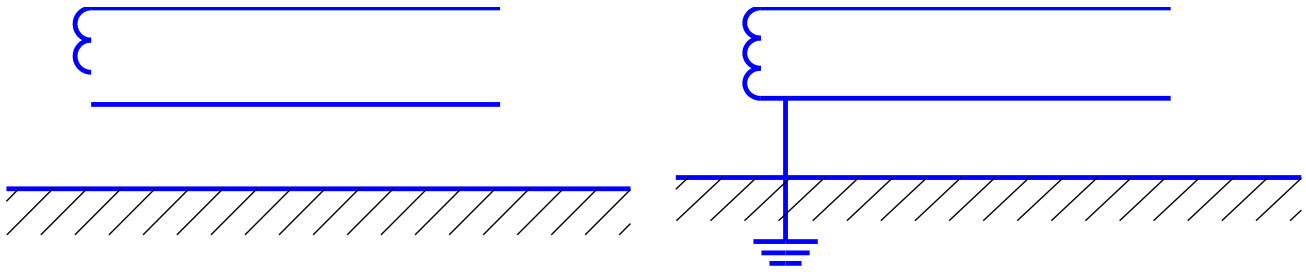
Таким образом, указанная опасность не однозначна: в одних случаях включение человека в электрическую цепь будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется неопасным, в других токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

В настоящей главе мы определим зависимость опасности включения человека в электрическую цепь, т. е. значения напряжения прикосновения и тока, протекающего через человека, от перечисленных факторов. Эту зависимость необходимо знать при оценке той или иной сети по условиям техники безопасности, выборе и расчете соответствующих мер защиты, в частности заземления, зануления, защитного отключения, устройств контроля изоляции сети и т. п. При этом во всех случаях, кроме особо оговоренных, будем считать, что сопротивление основания, на котором стоит человек (грунт, пол и т.п.), а также сопротивление его обуви незначительны и поэтому приняты равными нулю.

Материал этой главы распространяется на сети всех напряжений, однако большую практическую значимость он имеет для сетей до 1000 В, которые наиболее распространены в сельскохозяйственном производстве.

Сети переменного тока бывают однофазными и многофазными. Однофазные сети могут быть двухпроводными изолированными от земли или с заземленным проводом (рисунок 3.1).

Двухпроводные сети напряжением 12, 24, 36 и 42В используют для питания ручных переносных ламп, электрифицированных инструментов и подобных им потребителей, а с более высоким напряжением – 127, 220. 380 В и выше – для питания сварочных трансформаторов, испытательных установок и других однофазных потребителей.



а б

а – двухпроводная изолированная от земли, б – двухпроводная с заземленным проводом

Рисунок 3.1 – Схемы однофазных сетей

Трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали источника тока* и наличия нейтрального или нулевого проводника могут быть выполнены по четырем схемам: 1) трехпроводной с изолированной нейтралью (рисунок 3.2а); 2) трехпроводной с заземленной нейтралью (рисунок 3.2б); 3) четырехпроводной с изолированной нейтралью (рисунок 3.2в); 4) четырехпроводной с заземленной нейтралью (рисунок 3.2г).

Нейтраль, а правильнее – нейтральная точка обмотки источника или потребителя энергии, есть точка, напряжения которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению. Нейтралью обладают многофазные источники и потребители энергии, обмотка которых соединена звездой. Обмотки нескольких однофазных источников или потребителей, соединенные последовательно или звездой, также могут иметь нейтральную точку (т.1), но лишь одну, общую для всех обмоток (рисунок 3.3).

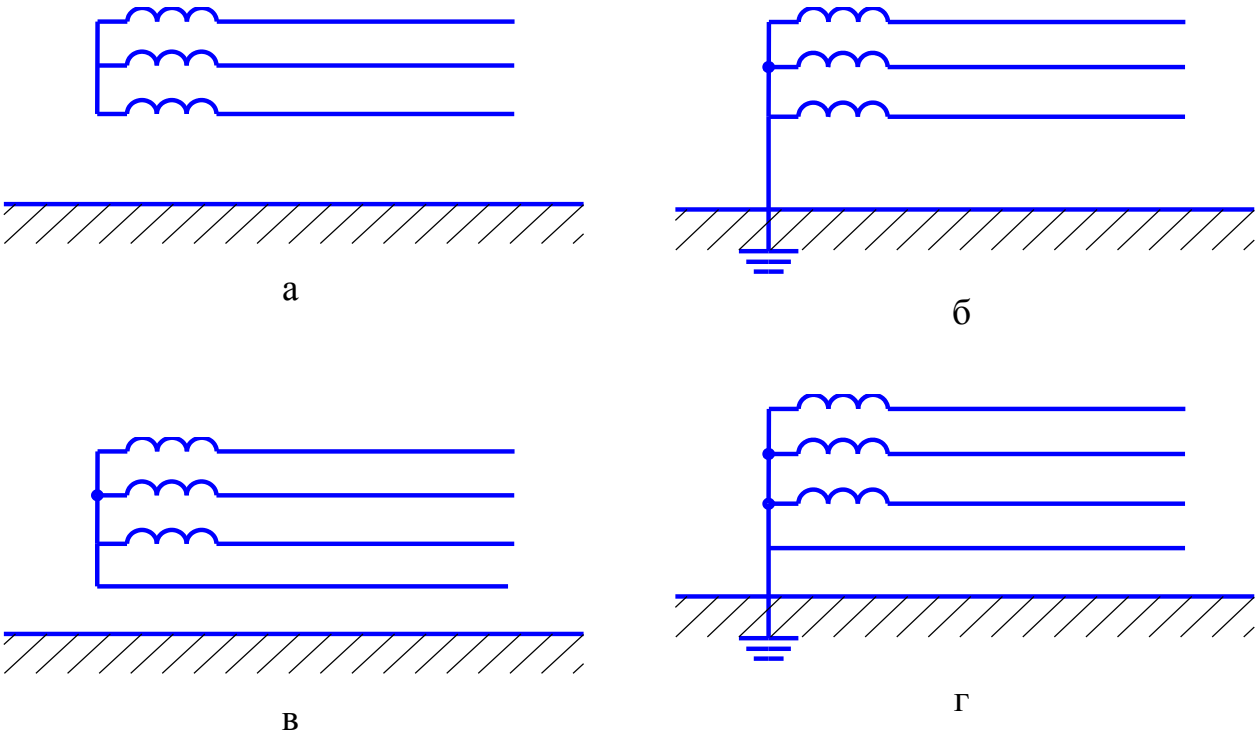
В однофазных и многофазных сетях, питающихся от источников энергии, не имеющих нейтральной точки **, может быть создана так называемая искусственная нейтральная точка с помощью резисторов, трансформаторов и т.п.

Заземленная нейтральная точка носит название нулевой точки (т.3. рисунок 3.3). Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление (трансформатор тока и т.п.), называется также глухозаземленной нейтралью.

---

* То есть в зависимости от того, изолирована от земли или заземлена нейтраль.

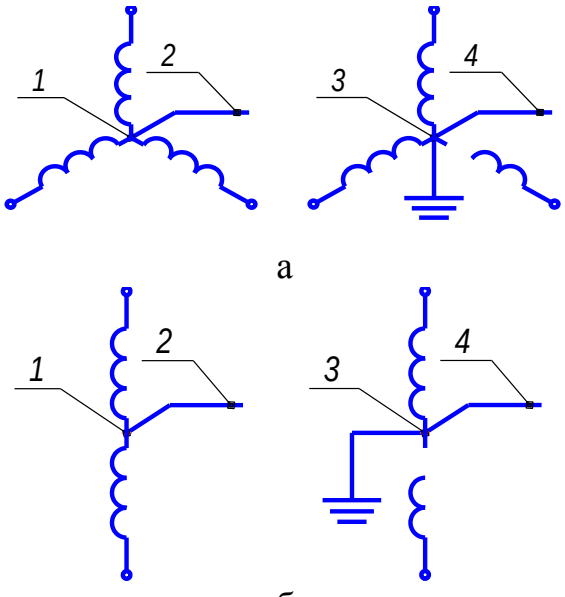
** Например, трансформатор трехфазного тока, обмотки которого соединены треугольником.



а б в г

а – трехпроводная сеть с изолированной нейтралью, б – трехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью, в – четырехпроводная сеть с изолированной нейтралью, г – четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

Рисунок 3.2 – Схемы трехфазных сетей



а б

1 – нейтральная точка, 2 – нейтральный проводник, 3 – нулевая точка, 4 – нулевой проводник

Рисунок 3.3 – Нейтральные и нулевые точки и проводники обмоток источников (потребителей) энергии – трехфазных (а) и однофазных, соединенных последовательно (б)

Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется

нейтральным проводником, а к нулевой точке – нулевым проводником*.

При напряжении до 1000В в нашей стране применяют в основном две из указанных схем сетей трехфазного тока – первую и четвертую (рисунок 3.2 а и г), т. е. трехпроводную с изолированной нейтралью напряжением 36, 42, 127, 220, 380 и 660 В и четырехпроводную с заземленной нейтралью напряжением 220/127, 380/220 и 660/380 В. При этом в четырехпроводной сети заземление нейтрали источника тока (генератора, трансформатора) осуществляют соединением ее с заземлителем непосредственно либо через малое сопротивление (например, через трансформатор тока), и поэтому такую сеть принято называть сетью с глухозаземленной нейтралью. Наиболее распространенными в России являются сети 380/220 В.

Другие две из указанных схем сетей — вторую и третью (рисунок 3.2 в и в, т. е. трехпроводную с заземленной нейтралью и четырехпроводную с изолированной нейтралью) при напряжении до 1000 В, как правило, не применяют, потому что в трехпроводной сети с заземленной нейтралью в случае замыкания фазы на корпус, а в четырехпроводной с изолированной нейтралью при замыкании фазы на землю невозможно обеспечить безопасность персоналу обычными способами (защитным заземлением, занулением). Вторую и третью схемы выполняют иногда лишь в специальных установках (передвижных, лабораторных и т. п.).

Схемы включения человека в цепь тока могут быть различными. Однако наиболее характерны две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей (рисунок 3.4).

Разумеется, во втором случае предполагается электрическая связь между сетью и землей. Такая связь может быть обусловлена несовершенством изоляции проводов относительно земли, наличием емкости между проводами и землей и, наконец, заземлением нейтрали источника тока, питающего данную сеть. Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая – однофазному.

Двухфазное прикосновение, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное, а ток, проходящий через человека, оказываясь не зависимым от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов, имеет наибольшее значение

$$I_h = \frac{U_Л}{R_h} = \frac{U_Ф \cdot \sqrt{3}}{R_h},$$

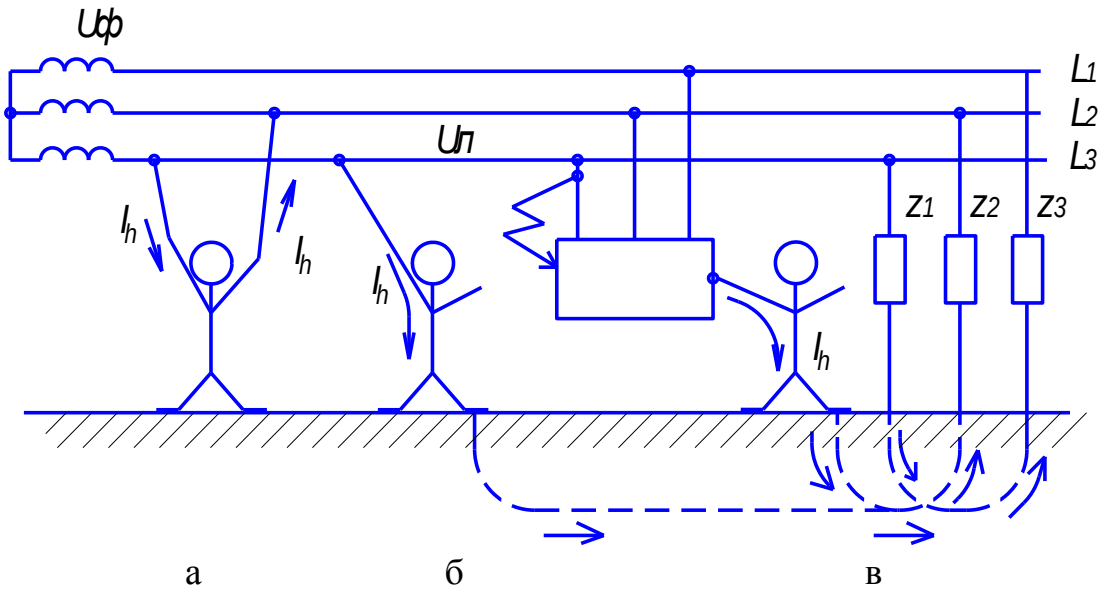
где $U_л = U_Ф\sqrt{3}$ — линейное напряжение. В;

$U_Ф$ – фазное напряжение, В;

R_h – сопротивление тела человека, Ом.

---

* Согласно указаниям ПУЭ нулевым проводником называется также проводник, присоединенный к глухозаземленному выводу обмотки источника однофазного тока.



а – двухфазное прикосновение, б и в – однофазные прикосновения, z1, z2, z3 – полные сопротивления проводов относительно земли

Рисунок 3.4 – Случаи прикосновения человека к проводам трехфазной электрической сети

Случаи двухфазного прикосновения происходят очень редко. Они являются, как правило, результатом работы под напряжением в электроустановках до 1000 В – на щитах, сборках, воздушных линиях электропередачи (например, при замене сгоревшего предохранителя на вводе в здание) и т. п.; применения неисправных индивидуальных электрозащитных средств – диэлектрических перчаток с проколами или разрывами резины, монтерского инструмента с поврежденной изоляцией рукояток и пр.; эксплуатации оборудования с неогражденными неизолированными токоведущими частями (открытые рубильники, поврежденные штепсельные розетки, провода с поврежденной изоляцией, незащищенные зажимы сварочных трансформаторов и т. п.).

Однофазное прикосновение, как правило, менее опасно, чем двухфазное, поскольку ток, проходящий через человека, ограничивается влиянием многих факторов.

Однако однофазное прикосновение возникает во много раз чаще. Поэтому в рассматриваемых нами сетях анализируются лишь случаи однофазного прикосновения. При этом в целях упрощения принимаем, что тело человека обладает лишь активным сопротивлением R_h, а сопротивление растеканию ног человека $R_{осн}$ и сопротивление его обуви $R_{об}$ принимаем, как указывалось, равными нулю (за исключением особо оговоренных случаев).

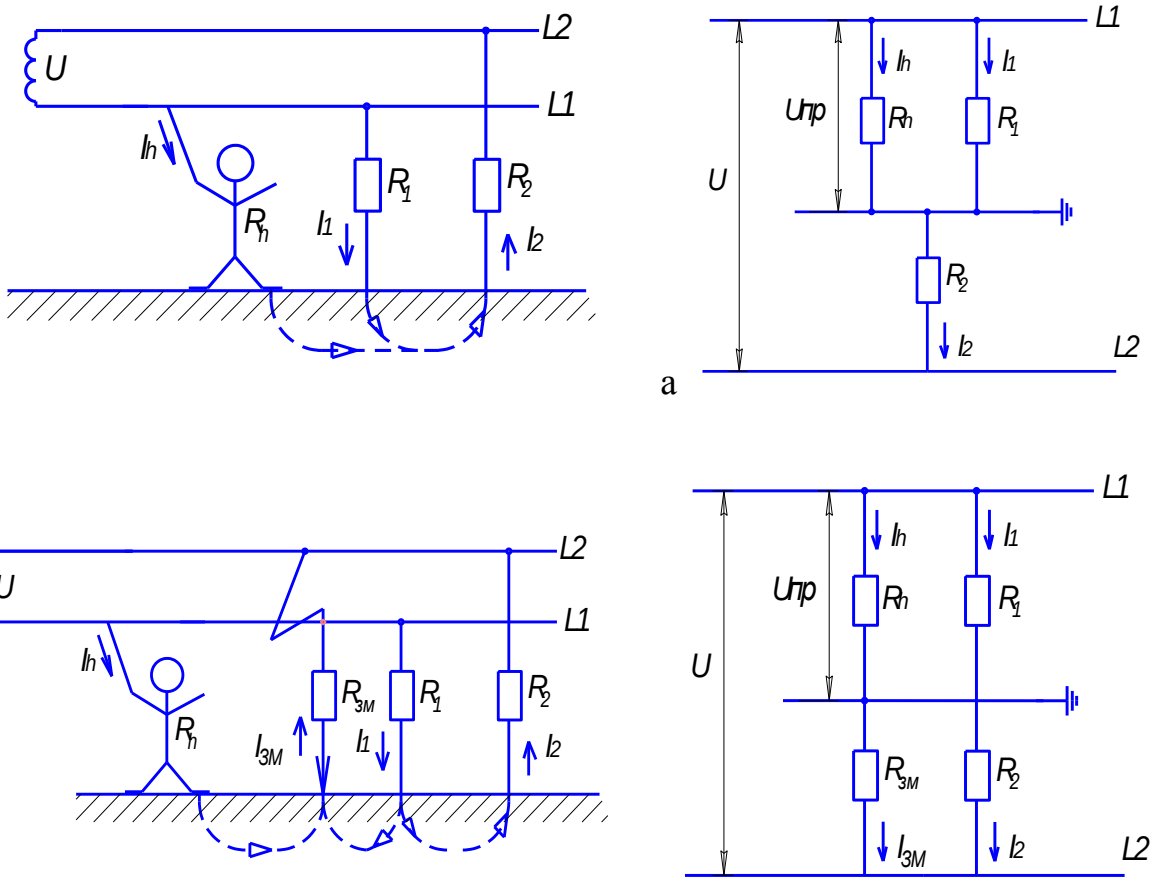
3.2. Однофазные сети

3.2.1 Сеть, изолированная от земли

Рассмотрим одну из простейших сетей – однофазную двухпроводную, изолированную от земли, у которой емкость проводов относительно земли можно принять равной нулю (рисунок 3.5). Такой может быть, например, воздушная сеть до 1000 В небольшой протяженности.

Нам требуется оценить опасность прикосновения человека к одному из проводов этой сети, т.е. определить напряжение $U_{пр}$, под которым окажется человек, и ток I_h, проходящий через него, как при нормальном режиме работы сети, так и при аварийном (т.е. при замыкании какого-либо провода на землю).

Считаем, что нам известны напряжение сети U и сопротивления изоляции проводов относительно земли R_1 и R_2, тела человека R_h и замыкания провода на землю $R_{зм}$.



а – при нормальном режиме, б – при аварийном режиме

Рисунок 3.5 – Прикосновение человека к проводу однофазной двухпроводной сети и схемы замещения электрической цепи

При нормальном режиме работы сети напряжение прикосновения, т. е. напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся к одному из проводов сети, например, к проводу *L1* (рисунок 3.5, *а),* можно определить следующим образом.

Из схемы замещения можно написать

$$U = U_{пр} + I_2 \cdot R_2 = U_{пр} + (I_h + I_1) \cdot R_2$$

где I_1 и I_2 – токи, проходящие через сопротивления изоляции R_1 и R_2 соответственно, А.

Учитывая, что

$$I_h = \frac{U_{пр}}{R_h} \text{ и } I_1 = \frac{U_{пр}}{R_1},$$

получаем

$$U = U_{пр} + \left(\frac{U_{пр}}{R_h} + \frac{U_{пр}}{R_1} \right) \cdot R_2 = \frac{U_{пр} \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_h + R_2 \cdot R_h)}{R_1 \cdot R_h},$$

откуда искомое напряжение прикосновения,

$$U_{пр} = \frac{U \cdot R_1 \cdot R_h}{(R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_h + R_h \cdot R_2)}, \text{В}, \qquad (3.1)$$

а ток, проходящий через человека

$$I_h = \frac{U_{пр}}{R_h} = \frac{U \cdot R_1}{(R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_h + R_h \cdot R_2)}, A. \qquad (3.2)$$

Из этих выражений можно сделать два вывода:

1. Чем лучше изоляция проводов относительно земли, тем меньше опасность однофазного прикосновения к проводу.

Этот вывод будет особенно очевиден, если положить $R_1 = R_2 = R$; тогда

$$U_{пр} = \frac{U \cdot R_h}{(2 \cdot R_h + R)}, \qquad I_h = \frac{U}{(2 \cdot R_h + R)}. \qquad (3.3)$$

Подтвердим этот вывод примером.

Пример 3.1. Человек прикоснулся к проводу *L1* однофазной двухпроводной линии, изолированной от земли (рисунок 3.5,а).

Дано: R_h = 1000 Ом; $R_1 = R_2 = R$.

Определить $U_{пр}$ при R = (1, 10, 20 и 40) · 10^3 Ом.

Решение.

По формуле 3.1 находим $U_{пр}$,В:

при R = 1000 Ом $U_{пр} = \frac{U \cdot 1000}{(2 \cdot 1000 + 1000)} = \frac{U}{3}$;

при $R = 10 \cdot 10^3$ Ом $U_{пр} = \frac{U}{12}$;

при $R = 20 \cdot 10^3$ Ом $U_{пр} = \frac{U}{22}$;

при $R = 40 \cdot 10^3$ Ом $\quad U_{пр} = \dfrac{U}{42}$.

Следовательно, чем выше значение R, тем меньше $U_{пр}$.

2. Прикосновение человека к проводу с большим сопротивлением изоляции более опасно.

Пример 3.2. Определить I_h при прикосновении человека к проводу *L1* (рисунок 3.5,а) для двух случаев: R_1 = 40 кОм, R_2 = 10 кОм и R_1 = 10 кОм, R_2 = 40 кОм. Принять R_h = 1000 Ом, U = 1000 В.

Решение.

По формуле 3.2 находим I_h:

– для первого случая

$$I_h = \frac{1000 \cdot 40}{(40 \cdot 10 + 40 \cdot 1 + 10 \cdot 1)} = 88{,}9 мА,$$

– для второго

$$I_h = \frac{1000 \cdot 10}{(10 \cdot 40 + 10 \cdot 1 + 40 \cdot 1)} = 22{,}2 мА.$$

Следовательно, второй случай (прикосновение к проводу с меньшим сопротивлением изоляции) менее опасен.

Следует подчеркнуть, что эти выводы справедливы и для других сетей, в том числе трехфазных.

При аварийном режиме, когда один из проводов сети, например *L2*, замкнут на землю через сопротивление $R_{зм}$ (рисунок 3.5б), напряжение прикосновения и ток, протекающий через человека, прикоснувшегося к исправному проводу, определяются полученными выражениями (3.1 и 3.2), в которых R_2 должно быть заменено на $R_э$ – эквивалентное сопротивление параллельно включенных сопротивлений R_2 и $R_{зм}$, Ом:

$$R_э = \frac{R_2 \cdot R_{зм}}{R_2 + R_{зм}} \ . \qquad (3.4)$$

Однако поскольку $R_{зм}$ обычно мало по сравнению с R_1, R_2 и R_h и может быть принято равным нулю, согласно указанным выражениям напряжение $U_{пр}$ и ток I_h будут иметь наибольшие возможные значения:

$$U_{пр} \approx U,$$

$$I_h \approx \frac{U}{R_h}.$$

Пример 3.3. Определить $U_{пр}$ при прикосновении человека к проводу при аварийном режиме (рисунок 3.5б).

Дано: R_h = 1000 Ом; R_1 = R_2 = 1000 Ом, сопротивление замыкания провода на землю $R_{зм}$ = 25 Ом.

Решение.

По формуле 3.4 находим эквивалентное сопротивление

$$R_э = \frac{1000 \cdot 25}{1000 + 25} = 24{,}4 Ом.$$

Из выражения 3.1, в котором заменяем R_2 на $R_э$, получим

$$U_{пр} = \frac{U \cdot 1000 \cdot 1000}{(1000 \cdot 24{,}4 + 1000 \cdot 1000 + 24{,}4 \cdot 1000)} = 0{,}954U.$$

При других значениях R_1 и R_2 напряжение $U_{пр}$ практически не изменится.

Таким образом, при замыкании провода на землю человек, прикоснувшийся к исправному проводу, оказывается под напряжением, равным почти полному напряжению линии независимо от сопротивления изоляции проводов. Следовательно, при аварийном режиме защитная роль изоляции проводов практически полностью утрачена и поэтому опасность поражения человека током значительно выше, чем в случае прикосновения к тому же проводу сети в период ее нормальной работы.

3.2.2 Сеть с заземленным проводом

Рассмотрим однофазную двухпроводную сеть с заземленным проводом, емкостью которой относительно земли можно пренебречь.

При прикосновении к незаземленному проводу *L2* этой сети (рисунок 3.6а) через человека проходит ток

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0}, A, \qquad (3.5)$$

а напряжение прикосновения равно

$$U_{пр} = \frac{U \cdot R_h}{R_h + R_0}, \text{В},$$

где R_0 – сопротивление заземления провода, Ом.

Из этих выражений видно, что при $R_0 << R_h$ человек оказывается практически под полным напряжением сети, а ток, проходящий через него, имеет наибольшее значение. В данном случае мы не учитываем сопротивлений изоляции R_1 и R_2, влияние которых весьма незначительно.

Здесь уместно отметить исключительно большое значение изолирующих полов и обуви для безопасности людей от поражения током.

В самом деле, сопротивления пола $R_п$ и обуви $R_{об}$ включаются последовательно с сопротивлением тела человека R_h. С учетом их, выражение 3.5 будет иметь вид

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0 + R_{об} + R_{П}}. \qquad (3.6)$$

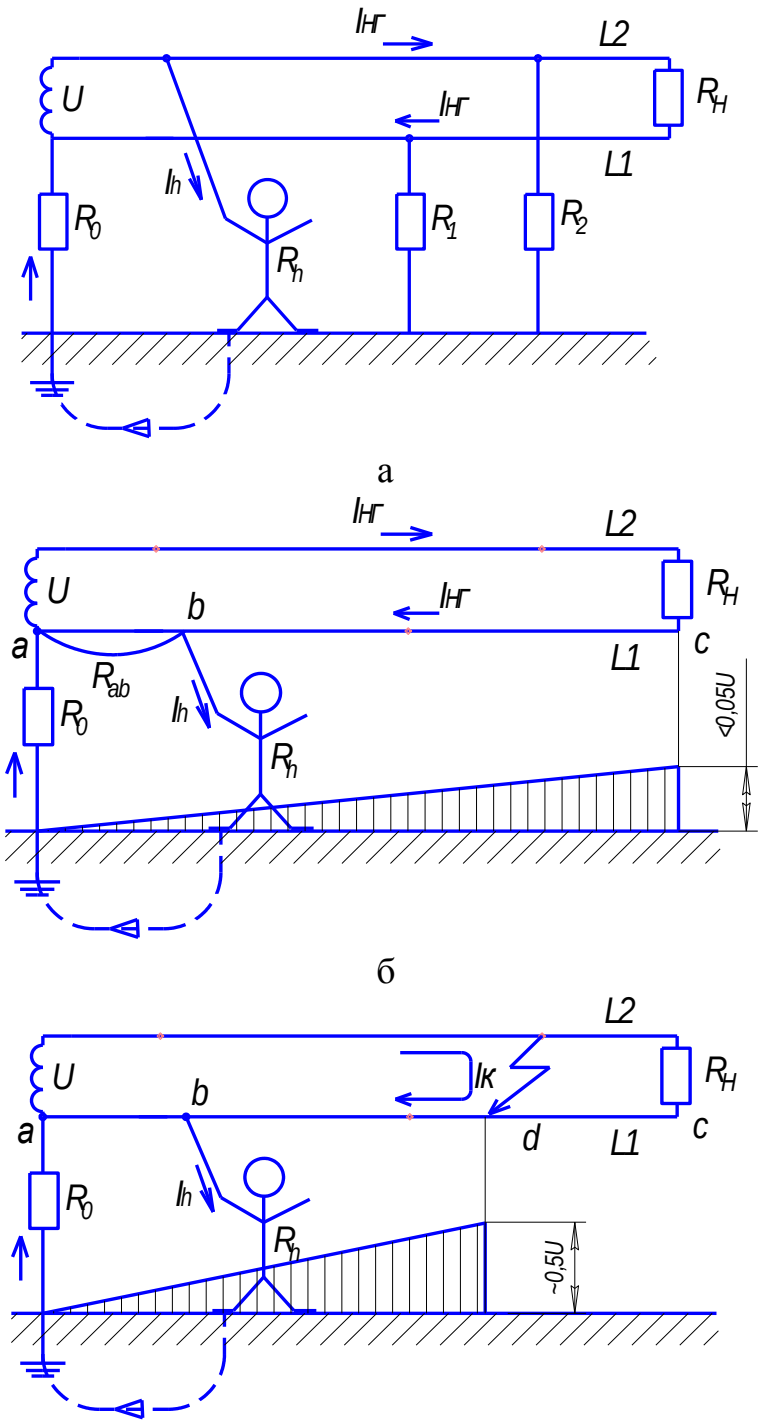
Пример 3.4. Определить I_h при прикосновении человека к проводу (рисунок 3.6а) для двух случаев: без учета и с учетом $R_п$ и $R_{об}$.

Дано: U = 220 В; R_h = 1000 Ом; R_0 = 10 Ом; $R_п = 30 \cdot 10^3$ Ом; $R_{об} = 20 \cdot 10^3$ Ом.

Решение. *1-й случай*. Из формулы 3.5 находим

$$I_h = \frac{220}{1000 + 10} = 0{,}22 A.$$

Безусловно, такой ток опасен для жизни человека.



а – прикосновение к незаземленному проводу; б – прикосновение к заземленному проводу при нормальном режиме работы сети; в - прикосновение к заземленному проводу при коротком замыкании между проводами

Рисунок 3.6 – Прикосновение человека к проводам однофазной двухпроводной сети с заземленным проводом

2-й случай. Из формулы 3.6 определяем

$$I_h = \frac{220}{1000 + 100 + 20 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3} = 0{,}0043A = 4{,}3мА.$$

Такой ток безопасен для жизни человека.

Прикосновение к заземленному проводу нередко считают безопасным, полагая, что напряжение этого провода относительно земли незначительно. В действительности это не всегда так. В самом деле, при прикосновении к заземленному проводу L1 (рисунок 3.6 б) человек оказывается под воздействием напряжения $U_{пр}$, равного потере напряжения в заземленном проводе на участке от места его заземления *a* до места касания *b:*

$$U_{пр} = I_{НГ} \cdot R_{ab}, \text{В},$$

где $I_{НГ}$ – ток нагрузки, проходящий по проводу, А;

R_{ab} – сопротивление провода на участке *ab,* Ом.

В нормальных условиях $U_{пр}$ невелико; наибольшее его значение соответствует прикосновению человека к точке *c* и составляет не более 5% напряжения сети *U* (поскольку сечения проводов выбираются из условия потери напряжения не более 10%).

При коротком замыкании между проводами (рисунок. 3.6в) ток резко возрастает и потеря напряжения в проводах достигает почти 100% *U.* При одинаковом сечении обоих проводов напряжение в точке *d* близко к половине напряжения сети.

Очевидно, что $U_{пр}$ возрастает практически пропорционально увеличению тока в проводе и при коротких замыканиях может достигать опасных для человека значений.

В таких случаях должны срабатывать защитные аппараты и отключать электрическую цепь.

3.3 Трехфазные сети

3.3.1 Трехфазная четырехпроводная сеть с нейтралью, заземленной через активное и индуктивное сопротивления

Определение напряжения прикосновения и тока, проходящего через тело человека, в случае прикосновения его к одной из фаз трехфазной сети оказывается более сложным, чем в рассмотренных выше случаях.

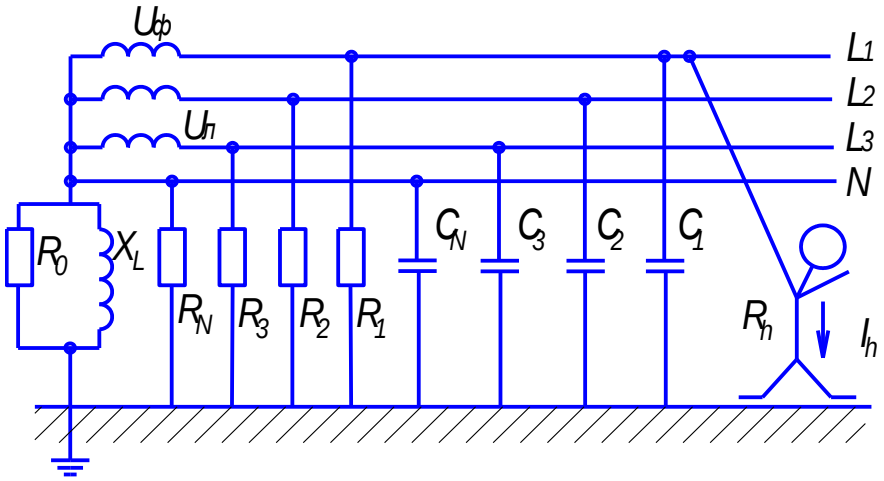
Для упрощения расчетов воспользуемся символическим методом. Вначале рассмотрим прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырех проводной сети, у которой нейтраль заземлена через активное и индуктивное сопротивления R_o и X_L (рисунок. 3.7) а сопротивления изоляции проводов *R*, Ом, так же как и емкости проводов *C*, Ф, относительно земли, не равны между собой:

$$R_{L1} \neq R_{L2} \neq R_{L3} \neq R_N;$$
$$C_{L1} \neq C_{L2} \neq C_{L3} \neq C_N \neq 0.$$

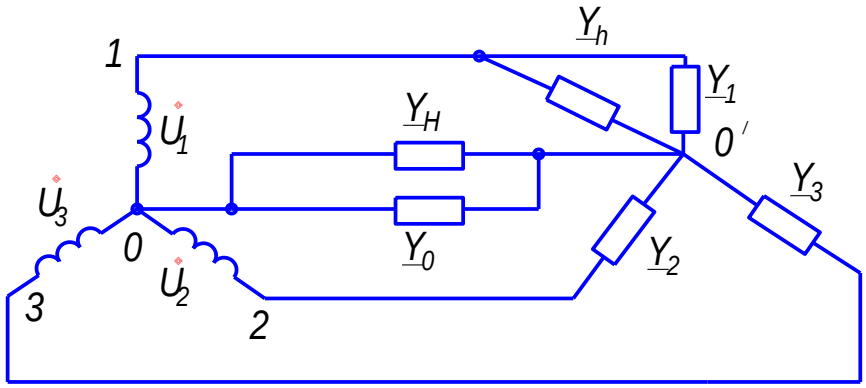
Это общий и в то же время наиболее сложный случай, однако выводы, полученные при его рассмотрении, могут быть распространены путем простейших преобразований на другие трехфазные сети.

На рисунке 3.7 показаны рассматриваемая сеть и ее эквивалентная схема в момент прикосновения человека к фазному проводу. На эквивалентной

схеме точка *0* обозначает нейтраль источника тока, а точка *0′* потенциал земли.



а



а – схема сети, б – эквивалентная схема

Рисунок 3.7 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с нейтралью, заземленной через активное и индуктивное сопротивления

Полные проводимости, изоляции фазных и нулевого проводов относительно земли $\underline{Y}_1$, $\underline{Y}_2$, $\underline{Y}_3$, $\underline{Y}_N$ и заземления нейтрали $\underline{Y}_0$ в комплексной форме равны

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1 = \frac{1}{R_1} + \frac{j}{X_{C1}};$$

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{R_2} + j\omega C_2 = \frac{1}{R_2} + \frac{j}{X_{C2}};$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{R_3} + j\omega C_3 = \frac{1}{R_3} + \frac{j}{X_{C3}};$$

$$\underline{Y}_N = \frac{1}{R_N} + j\omega C_N = \frac{1}{R_N} + \frac{j}{X_{CN}};$$

$$\underline{Y}_0 = \frac{1}{R_0} - \frac{j}{\omega L} = \frac{1}{R_0} - \frac{j}{X_L},$$

а полная проводимость тела человека

$$\underline{Y}_h = \frac{1}{R_h},$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, с$^{-1}$;

f – частота тока, Гц;

$X_c = 1/\omega C$ – емкостное сопротивление провода относительно земли, Ом;

L – индуктивность цепи заземления нейтрали, Гн;

$X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление заземления нейтрали, Ом;

R_h – сопротивление тела человека, Ом.

При прикосновении человека к одной из фаз, например фазе *L1* (рисунок 3.7), напряжение прикосновения, определится выражением

$$\dot{U}_{пр} = \dot{U}_1 - \dot{U}_0, \text{В}, \qquad (3.7)$$

а ток, проходящий через тело человека, будет равен

$$\dot{I}_h = \dot{U}_{пр} \cdot \underline{Y}_h = (\dot{U}_1 - \dot{U}_0) \cdot \underline{Y}_h, \text{А},$$

где $\dot{U}_1$ – комплексное напряжение фазы *L1* (фазное напряжение), В;

$\dot{U}_0$ – комплексное напряжение между нейтралью источника тока и землей (т.е. между точками ОО$'$ на эквивалентной схеме), В.

Согласно известному методу двух узлов $\dot{U}_0$ можно выразить следующей зависимостью

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_1 \cdot (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_h) + \dot{U}_2 \cdot \underline{Y}_2 + \dot{U}_3 \cdot \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_N + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}.$$

С учетом того, что для симметричной трехфазной системы

$$\dot{U}_1 = U_Ф;$$
$$\dot{U}_2 = a^2 U_Ф;$$
$$\dot{U}_2 = a U_Ф,$$

где a – фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз:

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2},$$

будем иметь

$$\dot{U}_0 = U_Ф \cdot \frac{\underline{Y}_1 + a^2 \underline{Y}_2 + a\underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_N + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}.$$

Подставив это значение в (3.7), получим в комплексной форме уравнение напряжения, приложенного к телу человека, прикоснувшегося к фазе *L1* трехфазной четырехпроводной сети с нейтралью, заземленной через активное и индуктивное сопротивления:

$$\dot{U}_{пр} = U_Ф \cdot \frac{\underline{Y}_2(1-a^2) + \underline{Y}_3(1-a) + \underline{Y}_N + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_N + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}. \qquad (3.8)$$

Ток, проходящий через человека, получим, если умножим это выражение на $\underline{Y}_h$

$$\dot{I}_h = \dot{U}_{пр} \cdot \underline{Y}_h = U_Ф \cdot Y_h \cdot \frac{\underline{Y}_2(1-a^2) + \underline{Y}_3(1-a) + \underline{Y}_N + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_N + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}. \qquad (3.9)$$

Пользуясь уравнениями (3.8) и (3.9), определим $U_{пр}$ и I_h при прикосновении человека к фазе наиболее распространенных трехфазных сетей: четы-

рехпроводной с нейтралью, заземленной через малое активное сопротивление, т.е. с глухозаземленной нейтралью, и трехпроводной с изолированной нейтралью.

3.3.2 Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

Выражения для $U_{пр}$ и I_h в случае прикосновения человека к фазе этой сети аналогичны (3.8) и (3.9), лишь полная проводимость заземления нейтрали имеет иное значение, а именно

$$\underline{Y}_0 = \frac{1}{R_0}. \qquad (3.10)$$

При нормальном режиме работы сети проводимости фазных и нулевого проводов относительно земли по сравнению с $\underline{Y}_o$ имеют малые значения и с некоторым допущением могут быть приравнены к нулю, т.е.

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}_N = 0.$$

В этом случае (3.8) и (3.9) значительно упростятся. Так, напряжение прикосновения, в действительной форме будет определяться по формуле

$$U_{пр} = U_{ф} \cdot \frac{\underline{Y}_0}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}$$

или

$$U_{пр} = U_{ф} \cdot \frac{R_h}{R_h + R_0}, \qquad (3.11)$$

а ток через человека

$$I_h = \frac{U_{ф}}{R_h + R_0}, A. \qquad (3.12)$$

Согласно требованиям ПУЭ наибольшее значение R_0 составляет 60 Ом; сопротивление же тела человека R_h не опускается ниже нескольких сотен Ом. Следовательно, без большой ошибки в зависимостях 3.11 и 3.12 можно пренебречь значением R_0 и считать, что при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением $U_ф$, а ток, проходящий через него, равен частному от деления $U_ф$ на R_h.

Пример 3.5 Человек прикоснулся к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Определить ток I_h, проходящий через человека.

Дано: $R_0 = 4$ Ом; $R_h = 1000$ Ом; $R_1 = R_2 = R_3 = R_н = R = 10^4$ Ом; $C_1 = C_2 = C_3 = C_н = C = 0{,}1$ мкФ ($X_c = 32 \cdot 10^3$ Ом).

Решение. Поскольку полные проводимости каждой фазы и нулевого провода $\underline{Y}$ весьма малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали $\underline{Y}_0$, т. е. $\underline{Y} << \underline{Y}_o$ и, следовательно,

$$\left(\frac{1}{10^4} + j\frac{1}{32 \cdot 10^3}\right) << \frac{1}{4},$$

принимаем, что $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}_N = 0$. Поэтому мы вправе применить (3.12).

Тогда ток через человека

$$I_h = \frac{220}{1000 + 4} = 0{,}219 A \approx 220 мА.$$

Очевидно, что и при других значениях R и C, но при условии, что $\underline{Y} << \underline{Y}_o$, ток через человека будет иметь практически то же значение.

Из зависимости (3.12) вытекает еще один вывод: ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к фазе трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью в период нормальной ее работы, практически не изменяется с изменением сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли, если сохраняется условие, что полные проводимости проводов относительно земли весьма малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали.

При аварийном режиме, когда одна из фаз сети, например фаза *L3* (рисунок 3.8), замкнута на землю через относительно малое активное сопротивление $R_{зм}$, зависимость 3.8 примет следующий вид:

$$\dot{U}_{пр} = U_{ф} \cdot \frac{\underline{Y}_{3M}(1-a) + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_{3M} + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}.$$

Здесь мы также приняли, что $\underline{Y}_1$, $\underline{Y}_2$ и $\underline{Y}_н$ малы по сравнению с $\underline{Y}_o$, а $\underline{Y}_3$ – по сравнению с $\underline{Y}_o$, и $\underline{Y}_{зм}$, т. е. приравнены нулю.

Выполнив соответствующие преобразования и учтя, что $\underline{Y}_{зм} = 1/R_{зм}$, $\underline{Y}_0 = 1/R_0$, $\underline{Y}_h = 1/R_h$ получим напряжение прикосновения в действительной форме

$$U_{пр} = U_{ф} \cdot R_h \cdot \frac{\sqrt{R_{3M}^2 + 3 \cdot R_{3M} \cdot R_0 + (R_0\sqrt{3})^2}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h \cdot (R_{3M} + R_0)}.$$

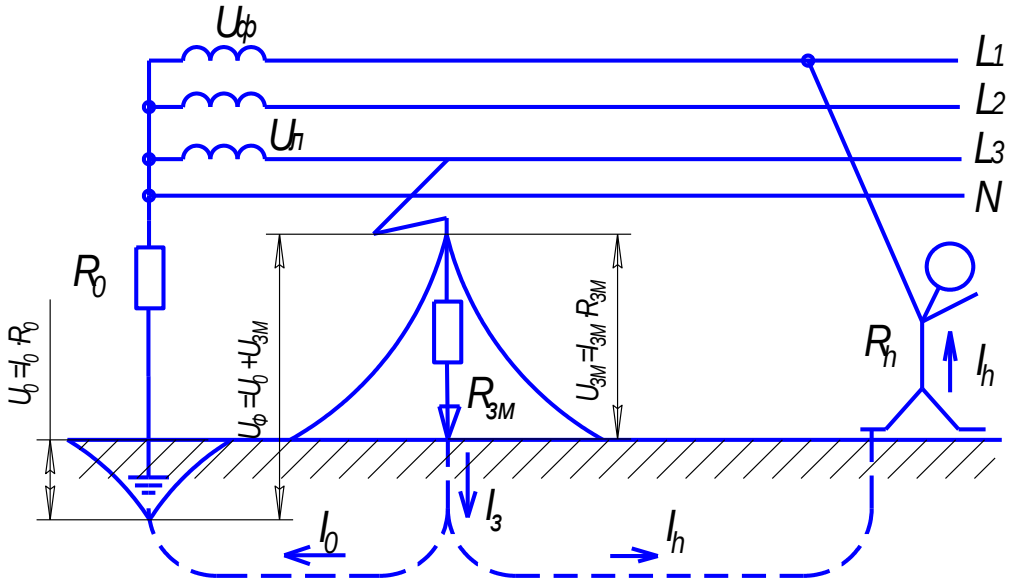


Рисунок 3.8 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме

В целях упрощения этого выражения допустим, что $3R_{3M} \cdot R_0 = 2\sqrt{3} \cdot R_{3M} \cdot R_0$.

В результате получим

$$\mathrm{U}_{\text{пр}} = U_{\Ф} \cdot R_h \frac{R_{\text{ЗМ}} + R_0\sqrt{3}}{R_{\text{ЗМ}} \cdot R_0 + R_h(R_{\text{ЗМ}} + R_0)}. \qquad (3.13)$$

Ток через человека определится по формуле

$$\mathrm{I}_h = U_{\Ф} \frac{R_{\text{ЗМ}} + R_0\sqrt{3}}{R_{\text{ЗМ}} \cdot R_0 + R_h(R_{\text{ЗМ}} + R_0)}. \qquad (3.14)$$

Рассмотрим два характерных случая.

1. Если принять, что сопротивление замыкания провода на землю $R_{ЗМ}$ равно нулю, то зависимость 3.13 примет вид

$$\mathrm{U}_{\text{пр}} = U_{\Ф}\sqrt{3}.$$

Следовательно, в данном случае человек окажется под воздействием линейного напряжения сети.

2. Если принять равным нулю сопротивление заземления нейтрали R_0, то

$$\mathrm{U}_{\text{пр}} = U_{\Ф},$$

т. е. напряжение, под которым окажется человек, будет равно фазному напряжению.

Однако в практических условиях сопротивления $R_{зм}$ и R_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного:

$$U_{\Ф}\sqrt{3} > U_{пр} > U_{\Ф}. \qquad (3.15)$$

Этот вывод вытекает из зависимости 3.13. Так, при небольших значениях $R_{зм}$ и R_0 по сравнению с R_h первым слагаемым в знаменателе можно пренебречь. Тогда дробь при любых соотношениях $R_{зм}$ и R_0 будет всегда больше 1, но меньше $\sqrt{3}$, т. е. получим выражение 3.15.

Таким образом, прикосновение человека к исправному фазному проводу сети с глухозаземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

Пример 3.6. Человек прикоснулся к фазному проводу трехфазной четырехпроводной электрической сети напряжением 380/220В в аварийный период, т. е. когда другой фазный провод замкнут на землю через сопротивление $R_{зм}$ = 100, 50, 4 и 0,5Ом (рисунок 3.8). Определить ток I_h, проходящий через человека. Дано: R_0 = 4Ом; R_h = 1000 Ом; $R_1 = R_2 = R_3 = R_н = R = 10^4$ Ом; $C_1 = C_2 = C_3 = C_н = C$ = 0,1 мкФ ($X_c = 32 \cdot 10^3$ Ом).

Решение. Поскольку $\underline{Y_1} << Y_{зм}$, т. е.

$$\left(\frac{1}{10^4} + j\frac{1}{32 \cdot 10^3}\right) << \frac{1}{100},$$

принимаем проводимости всех проводов относительно земли равными нулю. Тогда ток через человека определится уравнением 3.14. При $R_{зм}$ = 100 Ом этот ток будет равен

$$I_h = 220 \cdot \frac{100 + 4\sqrt{3}}{100 \cdot 4 + 1000 \cdot (100 + 4)} = 0{,}226A = 226\text{мА}.$$

Так же определим I_h для других значений $R_{зм}$:

$R_{зм}$, Ом	100	50	4	0,5
I_h, мА	226	232	300	362

3.3.3 Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

При нормальном режиме работы рассматриваемой сети напряжение $U_{пр}$ и ток I_h в период касания человека к одной фазе, например фазе *L1* (рисунок 3.9), определяются уравнениями 3.8 и 3.9, в которых надо принять $\underline{Y}_H = \underline{Y}_0 = 0$.

Так, согласно зависимости 3.9 выражение в комплексной форме для тока, проходящего через человека будет иметь вид

$$\dot{I}_h = U_\Phi \cdot \underline{Y}_h \cdot \frac{\underline{Y}_2(1 - a^2) + \underline{Y}_3(1 - a)}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}. \qquad (3.16)$$

Пользуясь этим выражением, оценим опасность прикосновения к фазному проводу для следующих трех случаев.

1 случай. При равенстве сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, т. е. при $R_1 = R_2 = R_3 = R$; $C_1 = C_2 = C_3 = C$, а следовательно, при $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}$. Ток, проходящий через человека, в комплексной форме равен

$$\dot{I}_h = U_\Phi \cdot \underline{Y}_h \cdot \frac{\underline{Y}_2(1 - a^2 + 1 - a)}{3\underline{Y} + \underline{Y}_h}.$$

если иметь в виду, что $(a^2 + a + 1) = 0$, тогда

$$\dot{I}_h = \frac{U_\Phi}{R_h + \frac{\underline{Z}}{3}}, \qquad (3.17)$$

где $\underline{Z}$ — комплекс полного сопротивления провода относительно земли, Ом:

$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}.$$

В действительной форме этот ток равен

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R \cdot (R + 6R_h)}{9R_h^2 \cdot (1 + R^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2)}}}. \qquad (3.18)$$

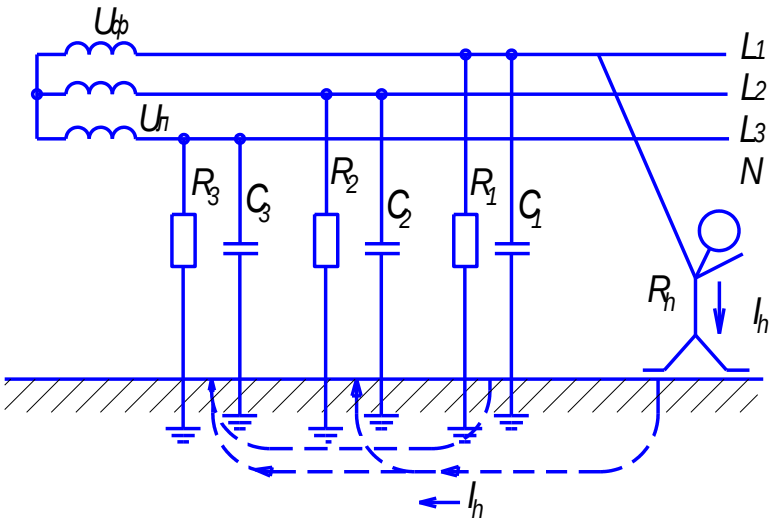


Рисунок 3.9 – Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы

2 случай. При равенстве сопротивлений изоляции и отсутствии емкостей, т.е. при $R_1 = R_2 = R_3 = R$; $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ и, следовательно, при $\underline{Y}=1/R$ и $\underline{Z} = R$, что может иметь место в коротких воздушных сетях, ток, проходящий через человека, согласно 3.16 в действительной форме будет равен

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + \frac{R}{3}}. \qquad (3.19)$$

Это выражение можно получить также из (3.17), в котором $\underline{Z}$ надо заменить на R, или из (3.18), приравняв в нем емкость $C=0$.

3 случай. При равенстве емкостей и весьма больших сопротивлениях изоляции, т. е. при $C_1 = C_2 = C_3 = C$; $R_1 = R_2 = R_3 = \infty$; и, следовательно, при $\underline{Y} = j\omega C = j/X_c$ и $\underline{Z}= 1/\underline{Y}= -jX_c$, что может иметь место в кабельных сетях, ток через человека в комплексной форме согласно формуле 3.16 будет равен

$$\dot{I}_h = \frac{U_\Phi}{R_h + \frac{1}{j \cdot 3\omega C}} = \frac{U_\Phi}{R_h - \frac{jX_C}{3}},$$

где $X_c = 1/\omega C$ – емкостное сопротивление, Ом.

Это выражение может быть получено также из 3.17, в котором $\underline{Z}$ надо заменить на $-jX_c$.

В действительной форме ток равен

$$I_h = \frac{U_\Phi \cdot 3\omega C}{\sqrt{9R_h^2\omega^2C^2 + 1}} = \frac{U_\Phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{X_C}{3}\right)^2}}. \qquad (3.20)$$

Это выражение можно получить также из формулы 3.18. Для этого надо открыть скобки у дробного выражения под корнем, а затем разделить числитель и знаменатель этой дроби на R^2.

Пример 3.7. Человек прикоснулся к фазе трёхфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью 380 В; R_h = 1000 Ом. Определить I_h для двух случаев:

1)при $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ и $R_l = R_2 = R_3 = R$; сопротивление R = (3, 5, 10, 20, 40 и 60) · 10^3 Ом;

2)при $C_1 = C_2 = C_3 = C$ и $R_1 = R_2 = R_3 = \infty$; емкость C = 0,03; 0,05; 0,1; 0,3; 0,6; 1,2 мкФ, а соответствующие ей емкостные сопротивления X_c = (100; 64; 32; 10,6; 5,3; 2,7) · 10^3 Ом.

Решение. I_h определяем по формулам 3.19 и 3.20. При R = 3000 Ом имеем

$$I_h = \frac{220}{1000 + \frac{3000}{3}} = 0{,}11A = 110мА.$$

При C = 0,03 мкФ, т. е. при $X_c = 100 \cdot 10^3$ Ом, получим

$$I_h = \frac{220}{\sqrt{1000^2 + \left(\frac{100 \cdot 10^3}{3}\right)^2}} = 0{,}0066A = 6{,}6мА.$$

Так же определим I_h для других значений R и C:

R, · 10^3, Ом.....	3	5	10	20	40	60
I_h, мА	110	83	51	29	16	10
C, мкФ.....	0,03	0,05	0,1	0,3	0,6	1,2
I_h, мА	6,6	10	20	60	110	165

Этот пример и выражения 3.17 – 3.20 показывают, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли – с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Вместе с тем этот случай, как правило, менее опасен, чем прикосновение в сети с заземленной нейтралью (сравнивая уравнения 3.12 и 3.19).

При аварийном режиме работы сети (рисунок 3.10), когда возникло замыкание фазы (например, фазы L3) на землю через малое активное сопротивление $R_{зм}$ проводимости двух других фаз можно принять равными нулю. Тогда, подставив в формулу 3.16 $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = 0$ получим ток, протекающий через человека

$$\dot{I}_h = U_\Phi \cdot \underline{Y}_h \frac{\underline{Y}_3(1-a)}{\underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}.$$

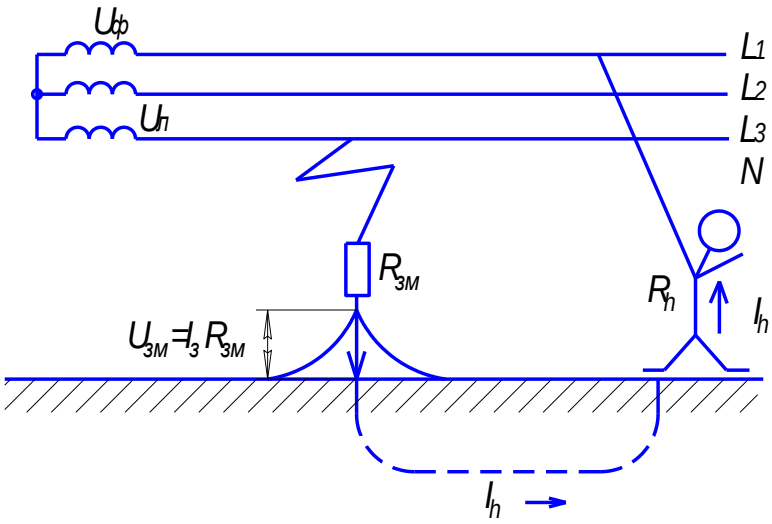


Рисунок 3.10 – Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме.

Произведя соответствующие преобразования и имея в виду, что $\underline{Y}_3=1/R_{зм}$ и $\underline{Y}_h=1/R_h$ получим выражение для тока в действительной форме

$$I_h = \frac{U_Ф \sqrt{3}}{R_h + R_{ЗМ}}, \qquad (3.21)$$

и напряжение прикосновения

$$U_{пр} = I_h \cdot R_h = \frac{U_Ф \sqrt{3} \cdot R_h}{R_h + R_{ЗМ}}. \qquad (3.22)$$

Если принять, что $R_{ЗМ} = 0$, или по крайней мере считать, что $R_{ЗМ} << R_h$ (так обычно бывает на практике), то согласно выражения 3.22 получим

$$U_{пр} = U_Ф \sqrt{3}.$$

т. е. человек окажется под линейным напряжением сети.

В действительных условиях $R_{зм}$ всегда больше 0, поэтому напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения сети.

Таким образом, это прикосновение во много раз опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы (сравнивая уравнения 3.19 и 3.21, а также имея в виду, что $R_{зм} << R/3$). Вместе с тем такое прикосновение является также более опасным, чем прикосновение к исправной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью (сравнивая уравнения 3.14, 3.21 и, имея в виду, что R_0 мало по сравнению с $R_{зм}$).

В подтверждение полученных выводов решим пример с данными, аналогичными данным примера 3.6.

Пример 3.8. Человек прикоснулся к проводу трехфазной трех проводной сети 380 В с изолированной нейтралью в период, когда другой провод был замкнут на землю через сопротивления $R_{зм}$ = 100; 50; 4 и 0,5 Ом (рисунок 3.10).

Дано: $R_1=R_2 = R_3 = R= 10^4$ Ом; $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0{,}1$ мкФ ($X_c = 32 \cdot 10^3$

Ом); R_h = 1000 Ом.

Определить ток, проходящий через человека при указанных значениях сопротивления замыкания провода на землю.

Решение. Поскольку полная проводимость, относительно земли исправного провода $\underline{Y} = 1/10^4 + j/(32 \cdot 10^3)$ значительно меньше полной проводимости замыкания провода на землю $\underline{Y}_{зм} = 1/R_{зм}$, т.е. $1/10^4 + j/(32 \cdot 10^3) << 1/R_{зм} = 1/100$, можно принять $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = 0$ и $\underline{Y}_3 = \underline{Y}_{зм} = 1/R_{зм}$.

Следовательно, мы вправе воспользоваться уравнением 3.21. Тогда при $R_{зм}$ = 100 Ом

$$I_h = \frac{220\sqrt{3}}{1000+100} = 0{,}345A.$$

При других значениях $R_{зм}$ ток I_h будет:

$R_{зм}$, Ом	100	50	4	0,5
I_h, мА.....	345	362	370	380

3.4 Особенности сетей с глухим заземлением нейтрали

Допустим, у одного из электродвигателей произойдет замыкание одной из фаз на корпус.

Все электродвигатели, подключенные к сети с глухим заземлением нейтрали в соответствии с требованием ПУЭ должны иметь зануление. Так как они все металлически соединены нулевым проводом, то окажутся под одним и тем же напряжением относительно земли

$$U_к = \mathrm{I}_к \cdot Z_{н.з.} ,$$

где $I_к$ – ток проходящий по петле фаза–нуль, А;

$Z_{н.з.}$ – сопротивление участка нулевого защитного проводника обтекаемого этим током $I_к$,Ом.

Для упрощения пренебрегаем сопротивлением обмоток источника тока и индуктивным сопротивлением петли фаза–нуль, а также будем считать, что фазный и нулевой защитный проводники обладают лишь активными сопротивлениями $R_ф$, $R_{н.з.}$.

Тогда можем записать

$$U_к = \frac{U_ф}{R_ф + R_{н.з.}} \cdot R_{н.з.} ,$$

Согласно ПУЭ $Z_н \le 2Z_ф$, $R_н \le 2R_ф$, тогда $U_к = \frac{2}{3} \cdot U_ф$.

Если принять $R_н \le 2R_ф$ при $\mathrm{U}_ф$ = *220* В, зануленные корпуса окажутся под напряжением *147* В. Если человек прикоснется к корпусу, то через него потечет ток *147* мА, это смертельно опасно.

Поэтому электроустановку необходимо как можно быстрее отключить от сети. Для чего необходимо выполнять следующие условия:

$$\begin{matrix} Z_н \le 2Z_ф; \\ t_{ср} \le t_{доп}, \end{matrix} ,$$

где $t_{ср}$ – время срабатывания защитного аппарата, с;

$t_{доп}$ – допустимое время отключения электроустановки, с /1, 21/.

3.5 Повторное заземление нулевого провода

В период, когда существует замыкание фазы на корпус, возникает опасность для людей, прикасающихся к зануленному оборудованию. Кроме этого, в случае обрыва нулевого защитного провода, эта опасность резко повышается, поскольку напряжение относительно земли оборванного участка нулевого защитного проводника и всех, присоединенных к нему корпусов, в том числе корпусов исправных установок, окажется равным фазному напряжению сети (рисунок 3.11).

Это напряжение будет существовать длительно, поскольку поврежденная установка автоматически не отключается и ее трудно обнаружить будет, чтобы отключить вручную.

Произведем повторное заземление нулевого провода за местом обрыва.

В этом случае сохранится цепь тока $I_з$ через землю (рисунок 3.10) благодаря чему напряжение запуленных корпусов, находящихся за обрывом, снизится до значения, В.

$$U_н = I_з \cdot r_п = \frac{r_п}{R_о + r_п} \cdot U_ф ,$$

где $r_п$ – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;

$R_о$ – сопротивление заземления нейтрали источника.

Корпуса установок, присоединенные к нулевому защитному проводнику, до места обрыва окажутся под напряжением, В.

$$U_о = I_з \cdot R_о = U_Ф \cdot \frac{R_о}{R_о + r_п} ,$$

при условии $R_о = r_п$

$$U_н = U_о = 0{,}5 \cdot U_ф ,$$

и во всех случаях $U_н + U_о = U_ф$

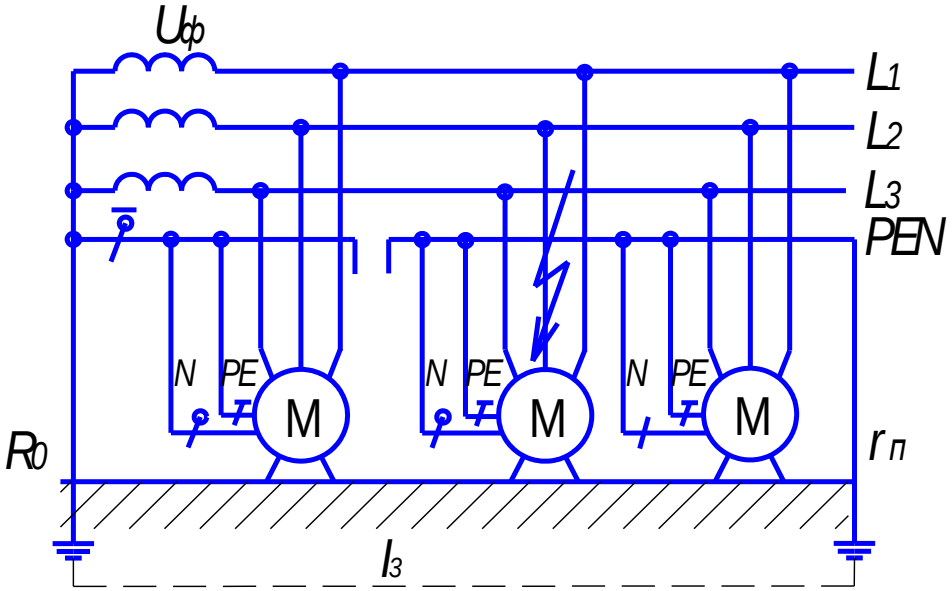


Рисунок 3.11 – Замыкание на корпус при обрыве нулевого защитного проводника

Если за местом обрыва окажется несколько повторных заземлений нулевого провода (n) , то суммарное сопротивление будет равно $\frac{r_п}{n}$ и напряжение на корпусах уменьшится.

Следовательно, повторное заземление нулевого защитного проводника значительно уменьшает опасность поражения током, возникающую в результате обрыва нулевого защитного проводника, но не может устранить ее полностью, т.е. не может обеспечить тех условий безопасности, которые существовали до обрыва. Таким образом, повторное заземление нулевого защитного проводника в период замыкания фазы на корпус снижает напряжение относительно земли зануленных конструкций, как при исправной схеме, так и в случае обрыва нулевого защитного проводника. Без повторного заземления напряжение нулевого защитного проводника может достигать недопустимых значений и поэтому такая схема зануления применяться не должна.

ПУЭ рекомендует выполнять повторные заземления PE и PEN проводников в системах TN. Повторные заземления выполняются на концах воздушных линий и их ответвлений, длина которых более 200 м и на вводах в здания установки которых подлежат заземлению.

В случае замыкания фазы на заземленный, но не присоединенный к нулевому проводу корпус, образуется цепь тока $I_з$, через сопротивление заземления этого корпуса $R_з$ сопротивление заземления нейтрали источника тока $R_о$. Допустим, что $R_з = 0{,}4$ Ом, $R_о = 4$ Ом, тогда

$$I_з = \frac{U_ф}{R_з + R_о} = \frac{220}{4{,}4} = 50\ A.$$

Напряжение между корпусом и землей

$$U_к = I_з \cdot R_з = 50 \cdot 0{,}4 = 20\ B\ .$$

Одновременно возникает напряжение между нулевым защитным проводником и землей, т.е. между всеми корпусами, присоединенными к нулевому защитному проводу, и землей равное

$$U_о = I_з \cdot R_о = 50 \cdot 4 = 200\ B\ .$$

Это уже опасное напряжение. Поэтому в сети, где применяется зануление, заземление приемников без присоединения к нулевому защитному проводнику недопустимо.

Контрольные вопросы

1. Какие виды прикосновений человека в трехфазных электрических сетях вы знаете? Какие из них наиболее опасны?
2. Какое прикосновение в однофазных сетях наиболее опасно – в нормальном или аварийном режиме? Почему?
3. Какие трехфазные сети наиболее опасны? Почему?
4. В чем особенность сетей с глухим заземлением нейтрали?
5. Для чего необходимо повторное заземление нулевого провода?
6 Почему в сети, где применяется зануление, заземление приемников без присоединения к нулевому защитному проводнику запрещено?

4 ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Для обеспечения электробезопасности в сельских электроустановках должны применяться отдельно или в сочетании друг с другом следующие технические способы:

– защитное заземление;

– зануление;

– защитное отключение;

– изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная);

– малое напряжение;

– выравнивание потенциалов и др.

Остановимся на них подробнее.

4.1 Защитное заземление

4.1.1 Принцип действия защитного заземления

Корпус электродвигателя, арматура электрического светильника или трубы электропроводки обычно не находятся под напряжением относительно земли благодаря изоляции от токоведущих частей. Однако в случае повреждения изоляции они могут оказаться под напряжением, нередко равным фазному. Электродвигатель с пробитой на корпус изоляцией соединен с машиной, которую он приводит в движение, например установлен на станке. Рабочий, взявшийся за рукоятки управления станком, может попасть под напряжение.

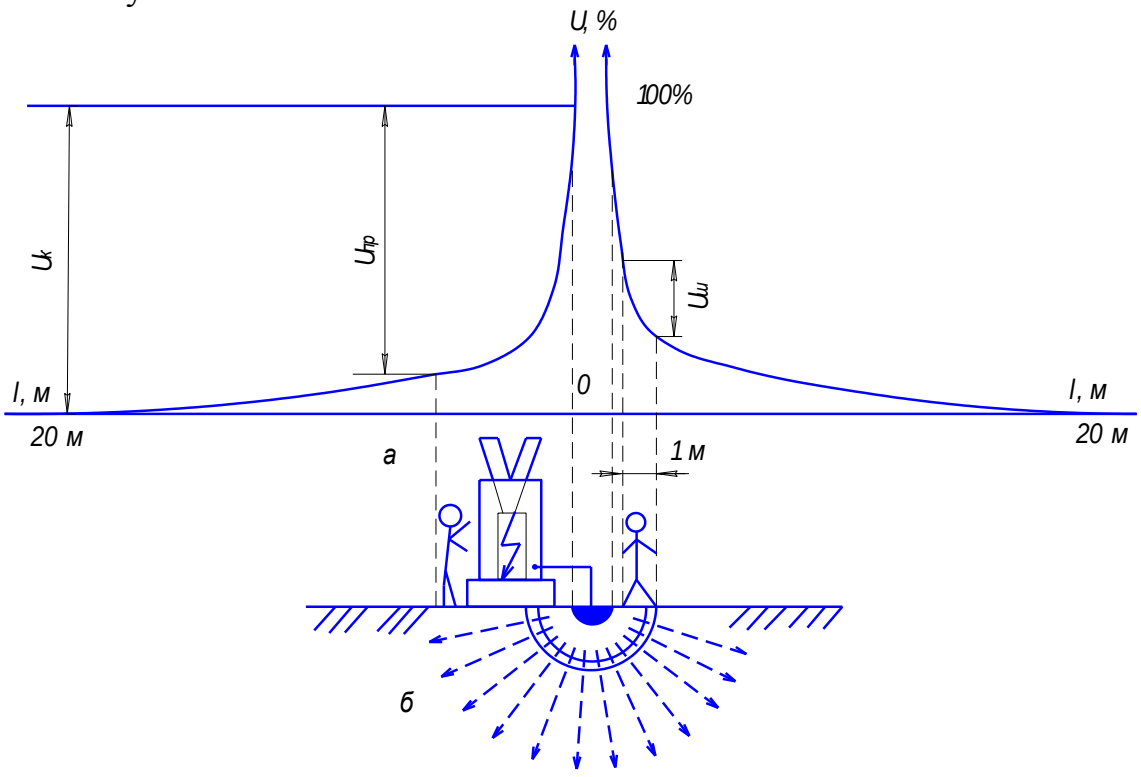
Защиту от поражения электрическим током при повреждении изоляции обеспечивают защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, уравнивание их с помощью системы защитных проводников, защитное отключение, изоляция нетоковедущих частей, электрическое разделение сети, малое напряжение, контроль изоляции, изолирующие защитные средства, а в сети с изолированной нейтральной точкой также компенсация токов замыкания на землю. Эти способы можно использовать в сочетании друг с другом. Наибольшее распространение получили защитное заземление и зануление.

Заземление состоит в том, что заземляемые части соединяют с заземлителем, т. е. с металлическим предметом, находящимся в непосредственном соприкосновении с землей, или с группой таких предметов. Чаще всего это стержни из угловой стали, забитые в землю вертикально и соединенные под землей приваренной к ним стальной полосой. Заземление частей электроустановки для обеспечения электробезопасности называют *защитным заземлением*. Бывают также грозозащитное (от грозовых перенапряжений в проводке или воздушной линии), молниезащитное и рабочее (необходимое для работы установки) заземления. Можно выделить также вспомогательные за-

земления в составе иных защитных мероприятий электробезопасности, например повторные заземления нулевого провода в системе технического способа «зануление». Заземления разных назначений, устроенные на одной площадке, как правило, конструктивно и электрически совмещают.

Защитное заземление применяют в электроустановках напряжением выше 1000 В с любым режимом работы нейтрали и в установках до 1000 В с изолированной от земли нейтральной точкой, а зануление применяют в установках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью (в частности, в сетях 380/220 В).

Благодаря защитному заземлению напряжение, под которое может попасть человек, прикоснувшийся к заземленной части, значительно снижается. Однако неверно, что это напряжение равно нулю, так как все, что электрически связано с землей, должно иметь потенциал земли, т. е. нуль. Дело в том, что землю можно рассматривать как электрический проводник с некоторым сопротивлением электрическому току и с падением напряжения вдоль пути тока, т. е. с различным потенциалом точек земли около заземлителя и на большом расстоянии от него, где потенциал действительно можно принять равным нулю.



а – кривая изменения потенциалов на поверхности земли при удалении от заземлителя, б – растекание тока от заземлителя; $U_К$ – напряжение на заземленном корпусе; l – расстояние от заземлителя

Рисунок 4.1 – К определению понятий «напряжение прикосновения» $U_{пр}$ и «напряжение шага» $U_ш$:

Если представить себе заземлитель в виде полусферы (рисунок 4.1), то можно считать, что ток в земле растекается во все стороны от этого заземли-

теля в радиальных направлениях. Сечение «земляного» проводника определяется поверхностью полусфер того или иного радиуса и по мере увеличения радиуса возрастает. Соответственно уменьшаются сопротивление грунта растеканию тока и падение напряжения на 1 м пути. Кривая изменения потенциала на поверхности земли представляет собой гиперболу. На расстоянии около 20 м от одиночного сосредоточенного заземления падение напряжения в слоях земли от тока, растекающегося с заземлителя, уже практически не обнаруживается, т. е. потенциал можно считать равным нулю.

Пространство вокруг заземлителя, где обнаруживается заметный электрический потенциал от тока, стекающего с заземлителя, называют зоной растекания. В сущности, сопротивление растеканию тока от заземлителя – это сопротивление полусферы грунта с радиусом, равным радиусу зоны растекания. Сопротивление заземлителя относительно земли (относительно точек грунта с нулевым потенциалом, находящихся вне зоны растекания тока) включает в себя кроме сопротивления растеканию тока в земле также сопротивление току при прохождении его по самим заземлителям и переходное сопротивление в электрическом контакте между металлическим заземлителем и ближайшими к нему слоями грунта. Последние две составляющие очень малы по сравнению с первой, даже если заземлители покрыты слоем ржавчины. Поэтому под сопротивлением заземлителя часто понимают его сопротивление растеканию. Но точнее это отношение напряжения на нем $U_З$ (его потенциала) к току $I_З$, который через него стекает в землю, т. е.

$$R_З = \frac{U_З}{I_З}$$

Совокупность заземлителя и заземляющих проводников, соединяющих заземлитель с заземляемыми частями электроустановки, называется *заземляющим устройством*. Напряжение на заземленном корпусе электрооборудования $U_К$ отличается от напряжения заземлителя $U_З$ на значение падения напряжения в заземляющих проводниках, соединяющих корпус с заземлителем. Но можно считать $U_К = U_З$. Сопротивлением заземляющего устройства считают сопротивление заземлителя.

За пределами зоны растекания ток в земле практически не обнаруживается, но не следует считать, что его там нет. В сети с изолированной нейтралью ток с провода, где повреждена изоляция, протекает через заземлитель и землю на провода других фаз, через активное сопротивление их изоляции и через емкостные сопротивления этих проводов относительно земли. В сети с заземленной нейтралью ток от места замыкания течет главным образом к нейтрали по пути с наименьшим индуктивным сопротивлением (под проводами линии).

Если нейтраль изолирована, то значение тока, А, зависит от напряжения сети U, кВ, и от емкости сети относительно земли (от длины металлически связанных воздушных и кабельных линий с ответвлениями):

$$I_З = U \cdot (l_в / 350 + l_к / 10),$$

где $l_в$ и $l_к$ – соответственно длина ВЛ и кабелей, км.

На рисунке 4.2 показана сеть без заземленной точки с полным сопротивлением изоляции проводов относительно земли Z_1 и Z_2.

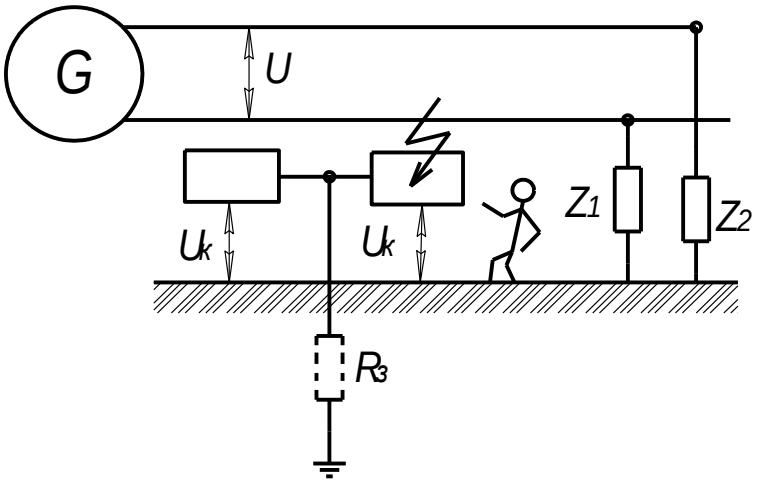
После пробоя изоляции одного из проводов на металлический корпус, который связан с защитным заземлением, имеющим сопротивление $R_З$, этот корпус будет иметь относительно участков земли с нулевым потенциалом напряжение, равное падению напряжения на $R_З$ от тока $I_З$ через него:

$$U_K = U_З = I_З R_З = R_З U/(R_З + Z_2).$$

Так как обычно $Z_2 >> R_З$, сила тока $I_З$ от значения $R_З$ практически не зависит, а U_K прямо пропорционально $R_З$. Поэтому с уменьшением $R_З$ снижается и напряжение, которое может иметь заземленный предмет. Однако такое же напряжение появится на корпусах неповрежденного оборудования, присоединенных к тому же заземлителю. Это один из недостатков защитного заземления. Аналогично действует защитное заземление и в трехфазных установках с изолированной нейтралью, например в установках с номинальным напряжением 6...35 кВ. Напряжение относительно земли, под которым могут оказаться корпуса оборудования *а, б* и *в* с пробитой изоляцией (рисунок 4.3) при отсутствии защитного заземления на *а*, зависит от сопротивления изоляции фаз относительно земли и теоретически может лежать в пределах от 0 (при $Z_A = 0$) до линейного $U_Л$ (при $Z_B = 0$ или $Z_C = 0$, $Z_A \neq 0$).

В таких сетях возможно проявление следующего недостатка защитного заземления. Если изоляция двух других фаз достаточно хорошая, а емкость их относительно земли мала, то ток замыкания на заземленный корпус (например, б) может быть настолько мал, что напряжение на корпусе $U_{кб}$ может не ощущаться людьми, в то же время напряжение двух других фаз относительно земли увеличивается от фазного до линейного.

Изоляция этих фаз может не выдержать увеличившегося напряжения и оказаться поврежденной в другом электроприемнике (произойдет двухфазное замыкание), имеющем свое защитное заземление (*в*). Ток двойного замыкания на землю может быть близок по значению к току короткого замыкания двух фаз и может создавать большое падение напряжения на сопротивлениях заземления обоих поврежденных приемников $R_{зб}$ и $R_{зв}$. Видно, что какими бы малыми ни были $R_{зб}$ и $R_{зв}$, падения напряжения на них, а значит, и напряжения на корпусах $U_{кб}$ и $U_{кв}$ будут зависеть от соотношения между $R_{зб}$ и $R_{зв}$ и от линейного напряжения сети. Практически всегда будет существовать опасность поражения электричеством. Например, при $R_{зб} = R_{зв}$ и $U_л = 10$ кВ получится: $U_{кб} = 0{,}5 \cdot U_л = 5$кВ.



G – источник питания, U_K – напряжение корпуса относительно земли, U – напряжение сети, Z_1 и Z_2 – сопротивления изоляции проводов, R_3 – сопротивление заземления

Рисунок 4.2 – Схема, поясняющая действие защитного заземления в однофазной сети без заземленной точки обмотки источника

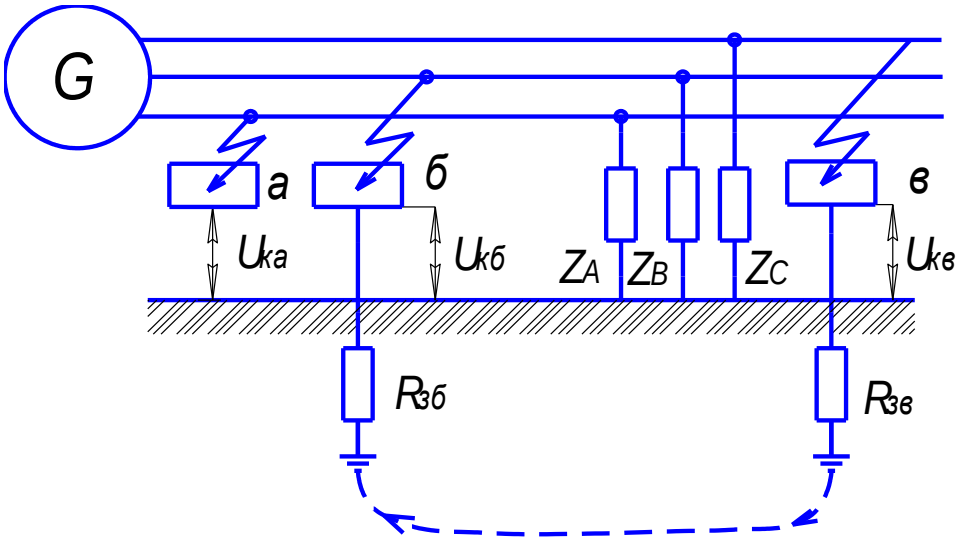


Рисунок 4.3 – Схема, поясняющая действие защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью

Участок сети с двойным замыканием на землю автоматически отключается за время, не превышающее 2...3 с, но до момента отключения заземление не защищает людей. Поэтому продолжительность работы сети с однофазным замыканием на землю ограничивают, т.к. существует возможность появления двухфазного короткого замыкания. На торфоразработках и в других местах с особо опасными условиями с точки зрения возможности поражения током вообще не допускается работа при однофазном замыкании на землю. В этих случаях применяют автоматическое отключение.

В установках напряжением выше 1 кВ с заземленной нейтралью (в России это установки с номинальным напряжением 110 кВ и более) защитное заземление снижает напряжение на заземленных частях оборудования, ока-

завшихся под напряжением при пробое изоляции одной фазы, а затем устройства релейной защиты от однофазных к. з. отключают поврежденную часть электроустановки за несколько секунд.

Напряжением прикосновения $U_{пр}$ по ПУЭ называют напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на заземленный корпус) при одновременном прикосновении к ним человека. Это, например (см. рисунок 4.1), корпус заземленного аппарата и точка земли в месте, где стоит человек, касающийся аппарата.

Напряжением шага $U_{ш}$ называют напряжение между двумя точками на поверхности земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном касании их ногами человека. Определение этих понятий в ГОСТ Р 50571.10–96 другое. Там это напряжение на теле человека при прикосновении или соответственно при шаге, т. е. оно меньше за счет падения напряжения на сопротивлениях растекания с ног в землю, обуви, пола при протекании тока через человека. Однако и определенное по ПУЭ $U_{пр}$ составляет лишь часть напряжения на заземлителе или практически равного ему напряжения на корпусе относительно точек земли с нулевым потенциалом. Оно зависит от расстояния между ногами человека и заземлителем (чем дальше, тем больше) и от крутизны кривой спада потенциала, которая может быть более пологой при сложной конструкции заземлителя (положе – безопаснее).

Заземляют открытые (доступные прикосновению) металлические нетоковедущие части, на которые напряжение может попасть в результате повреждения изоляции. Это корпуса трансформаторов и других электроприемников, приводы выключателей и других коммутационных аппаратов, каркасы распределительных щитов, пультов и щитов управления, шкафов с электрооборудованием, металлические оболочки кабелей, проводов, стальные трубы для электропроводки, тросы, на которых подвешены провода, кожухи шинопроводов, короба и лотки, арматура железобетонных опор и их проволочные оттяжки. Чтобы уравнять потенциалы в помещениях, где применяется заземление или зануление, заземляют (зануляют) также все так называемые сторонние проводящие части (строительные и производственные металлоконструкции и трубы водопровода и центрального отопления). Однако не заземляют и не зануляют: изоляторные крюки на деревянных опорах, если на них не проложен кабель с заземленной броней и не требуется заземление крюков на данной опоре для грозозащиты; металлические скобы для крепления проводов и другие детали размером не более 50 х 50 мм, недоступные для прикосновения; трубы для прохода через стены, в том числе при выполнении его кабелем. Не заземляют и металлические корпуса электрооборудования, установленного на заземленных или зануленных частях станков, если на опорных поверхностях предусмотрены места, зачищенные для хорошего контакта. На движущихся частях станка электрооборудование зануляют, поскольку оно отделено от неподвижной части станка смазочной пленкой.

По ГОСТ 30331.3–95 «Электроустановки зданий. Ч. 5.1. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током» требуется заземление или зануление открытых нетоковедущих частей, в частности металлических корпусов стационарных и переносных электроприемников, в любых зданиях (производственных, жилых) независимо от степени опасности поражения током в данном помещении, если номинальное напряжение превышает 50 В переменного тока или 120 В постоянного. Если же напряжение меньше, но больше 25 В переменного тока или 60 В постоянного, то так называемая защита от косвенного прикосновения (к корпусу оборудования с поврежденной изоляцией), в частности заземление или зануление, требуется в помещениях с повышенной опасностью или в особо опасных и наружных электроустановках. При меньшем напряжении заземление или зануление необходимо только во взрывоопасных зонах и для электрооборудования электросварки.

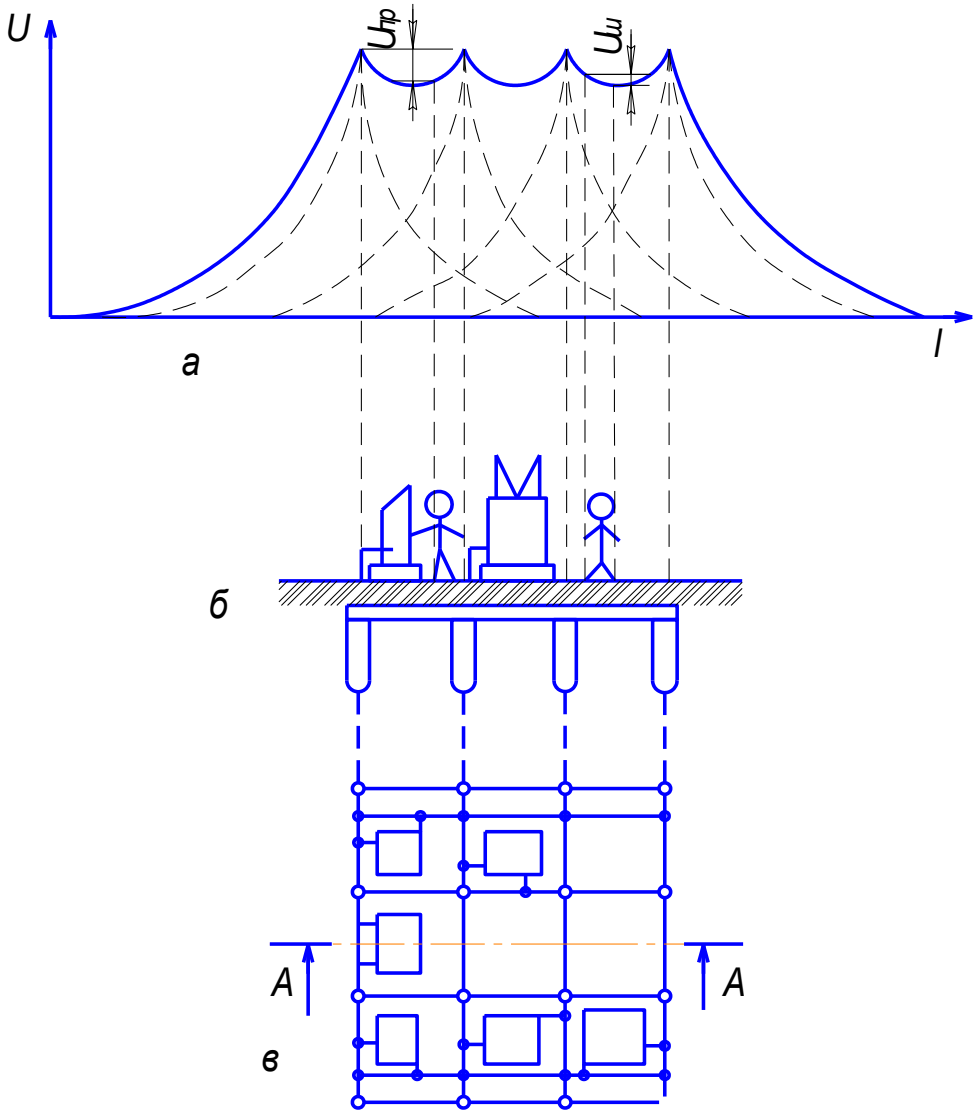
4.1.2 Конструкции заземляющих устройств

Для выравнивания потенциалов на территории электростанций и подстанций с целью уменьшения напряжения прикосновения и шага заземлитель в электроустановках напряжением выше 1000 В обязательно делают в виде замкнутого горизонтального контура из круглой или полосовой стали, охватывающего территорию, на которой размещена подстанция или электростанция. Незамкнутый контур, например ряд стержней, допускается лишь для заземления опор ЛЭП. В электроустановках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью (это установки с номинальным напряжением 110 кВ и выше) кроме замкнутого контура дополнительно применяют выравнивание электрических потенциалов путем прокладки внутри контура продольных и поперечных горизонтальных элементов заземлителя и соединения их сваркой между собой в заземляющую сетку. На рисунке 4.4 показано, как при этом уменьшаются напряжения прикосновения и шага по сравнению с сосредоточенным заземлителем (см. рисунок 4.1).

Продольные заземлители (выравнивающие потенциал неизолированные проводники) надо прокладывать на расстоянии 0,8...1 м (длина вытянутой руки) от фундаментов или оснований электрооборудования со стороны его обслуживания вдоль осей оборудования на глубине 0,5...0,7 м от поверхности земли. Поперечные заземлители прокладывают на такой же глубине в удобных местах между оборудованием.

Если заземляющая сетка располагается в пределах внешнего ограждения электроустановки, то у входов и въездов на ее территорию для дополнительного выравнивания потенциалов в установках напряжением 110 кВ и выше к внешнему горизонтальному проводнику присоединяют заглубленные под него два вертикальных стержня длиной по 3...5 м с расстоянием между ними, равным ширине входа или въезда. В скальных грунтах допускается не применять вертикальные заземлители, а горизонтальные прокладывать на глубине 0,15...0,5 м. В обычных грунтах заземляющие проводники от зазем-

ляемых частей оборудования к заземляющей сетке следует прокладывать в земле на глубине не менее 0,3 м.



а – кривая изменения потенциалов на поверхности земли по оси А–А при стекании тока с заземлителя, б – разрез электроустановки и заземлителя по оси А–А, в – план заземлителя

Рисунок 4.4 – Выравнивание потенциалов при сложном заземлителе:

Если для обеспечения необходимого значения сопротивления заземления заземляющая сетка имеет такие размеры, что она не помещается внутри территории электроустановки, то в дополнение к базовой конструкции внутри ограждения территории за оградой прокладывают горизонтальный контур, причем для уменьшения напряжения шага на глубине не менее 1 м и в виде многоугольника с тупыми углами. У заземлителей в электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (подстанции 35/6...10 кВ, 6...35/0,4 кВ) выравнивающие потенциал горизонтальные неизолированные проводники внутри замкнутого контура заземления, причем только продольные, прокладывают лишь в случае, если заземляющее устрой-

ство имеет сопротивление более 10 Ом.

От стойки портала, на которой установлен вертикальный молниеотвод, или от точки присоединения к заземлителю подстанции напряжением 35...110/6 кВ протяженного тросового молниеотвода, защищающего подходы ВЛ к подстанции, должны отходить в трех направлениях горизонтальные заземлители каждый с вертикальным заземлителем длиной 3...5 м на расстоянии от этой стойки или точки присоединения не менее, чем его длина, т. е. на внешнем контуре.

Кроме обычных конструкций заземлителей (вертикальных длиной 3...5 м и горизонтальных на глубине 0,5...0,7 м) применяют углубленные заземлители, которые представляют собой заземлитель из круглой стали, горизонтально уложенный по внешнему контуру дна котлована для фундамента здания. Если фундамент железобетонный, то можно использовать его арматуру. Благодаря углубленному расположению обеспечивается малое сопротивление при сравнительно небольшом расходе металла и без специальных работ. Сезонными изменениями сопротивления у таких заземлителей можно пренебречь, т. е. выполнять их без соответствующих запасов.

Заглублять стержни на 5...10 м можно с помощью различных механизмов. Для завинчивания круглых стержней диаметром 12 мм применяют ручной переносной инструмент на базе электродрели, снабженной редуктором и специальным зажимом для стержня, например типа ПВЭ или ПЗ-12. Предварительно надо приварить к концу стержня по винтовой линии два-три витка проволоки диаметром 6 мм или просто отковать в виде плоского копья конец стержня длиной, равной 10 его диаметрам. Иногда заглубляют стержни электровибратором, вдавливают их с помощью трубоукладчика или ямобура, забивают пневмомолотком или переоборудованным автопогрузчиком с падающим грузом.

В качестве заземлителей рекомендуется использовать так называемые естественные заземлители: арматуру железобетонных фундаментов, в том числе имеющих защитную гидроизоляцию; свинцовые оболочки кабелей, если их не менее двух (на случай ремонта одного из них); трубопроводы, проложенные в земле, за исключением трубопроводов канализации и центрального отопления или содержащих горючие и взрывоопасные газы или жидкости, если они отделены от заземляемого оборудования, а также кроме покрытых изоляцией для защиты от коррозии. Алюминиевые оболочки кабелей нельзя использовать в качестве естественных заземлителей ввиду быстрой коррозии при стекании с них тока в землю (в конструкции кабеля они изолированы от брони).

Если естественный заземлитель удовлетворяет по значению сопротивления $R_{E.З}$ необходимым требованиям к сопротивлению заземления $R_З$, то сооружать искусственный заземлитель нужно только для выравнивания потенциалов на территории установки, если без выравнивания напряжение прикосновения имеет недопустимое значение, или для снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них. Когда заземлитель проектируют по допустимому значению $R_З$ и значения $U_{пр}$

и $U_ш$ не проверяют, искусственный заземлитель при $R_{E.З} \leq R_З$, приходится сооружать (хотя бы минимальных размеров) для выполнения требований ПУЭ к конструкции заземлителя, обеспечивающей выравнивание потенциалов (замкнутый контур).

Искусственные заземлители необходимы также для заземления железобетонных опор в сетях напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью, если эти опоры не соединены с заземлителем подстанции или электростанции грозозащитным тросом. Искусственные заземлители должны обеспечивать нужное сопротивление без учета действия подземной части опоры как естественного заземлителя, иначе токи замыкания на опору, длительно стекая с нее в землю, в сетях напряжением 6...35 кВ приводят к повреждению опоры, а также высушивают землю вокруг и создают опасные напряжения прикосновения и шага, так как в сухой земле $R_З$ возрастает.

В качестве заземляющих спусков у железобетонных опор следует использовать все элементы продольной арматуры, которые должны быть соединены между собой и с заземлителем посредством так называемого нижнего заземляющего выпуска. Это стальной стержень длиной 1,5 м, заранее приваренный к арматуре опоры и выведенный из ее нижнего торца. Металлические траверсы и другие детали опоры, а также грозозащитные тросы присоединяют к ее арматуре с помощью заранее приваренного к ней верхнего заземляющего выпуска. Металлические и железобетонные конструкции при их использовании в качестве естественных заземлителей должны образовывать непрерывную электрическую цепь.

Согласно ГОСТ 12.1.030–81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», если железобетонные фундаменты производственных зданий в качестве естественного заземлителя обеспечат допустимые напряжения прикосновения, то сооружение искусственного заземлителя и прокладка магистральных проводников заземления внутри зданий не требуются.

Для заземления нейтральной точки в электроустановках напряжением до 1000 В естественными заземлителями можно также считать нулевые провода воздушных линий (повторные и грозозащитные заземления нулевого провода), если линий не менее двух. Однако в составе заземления нейтральной точки обязательно должно быть заземление в непосредственной близости от нее, т. е. использующее другие естественные заземлители на территории, например, подстанции, кроме нулевых проводов, если есть другие, или искусственное заземление, если нет.

Если в наиболее неблагоприятное для работы заземлителя время года (зимой) удельное сопротивление земли ρ превышает 200 Ом·м, то для экономии затрат на заземлители рекомендуется заменять грунт в непосредственной близости от заземлителя (на расстоянии до 1 м), засыпая траншеи пластичной глиной, или применять углубленные заземлители (на глубине ρ меньше), или устраивать выносные заземлители, если за пределами территории электроустановки имеются места со значительно меньшим ρ.

Траншеи с заземлителями для предотвращения их локальной коррозии засыпают грунтом, не содержащим щебень и мусор. В зависимости от

грунта, приводящего к быстрой коррозии, рекомендуется применять круглую сталь вместо полосовой и угловой, увеличивать сечение заземлителя. В обычных условиях сечение элементов из круглой стали уменьшается в 2 раза (при этом элемент должен быть заменен) за 6...12 лет при диаметрах соответственно 10...20 мм /14/. Это надо учитывать при проектировании заземлителя.

Таблица 4.1 – Наименьшие размеры стальных заземляющих проводников и заземлителей

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

* Диаметр каждой проволоки

Заземляющее устройство состоит из искусственных и естественных заземлителей и проводников, которые соединяют с ними заземляемое оборудование. К оборудованию заземляющие проводники присоединяют сваркой или болтами, а к металлоконструкциям и заземлителю (под землей) – сваркой внахлестку на длине, равной двойной ширине для полос или шести диаметрам для круглых стержней. К трубопроводам, используемым в качестве естественного заземлителя, заземляющие проводники можно присоединять с помощью хомутов, если контактная поверхность хомута облужена, а труба в месте его наложения зачищена. Отдельные заземляемые корпуса обычно присоединяют не к заземлителю, а к магистральному заземляющему проводнику, сечение которого (если это стальная полоса) должно быть не менее 100

мм^2 в установках напряжением до 1000 В или 120 мм^2 при напряжении выше 1000 В.

Магистрали заземления присоединяют к заземлителю не менее чем двумя проводниками в разных местах (за исключением заземления опор ЛЭП, повторных заземлений нулевого провода и металлических оболочек кабелей). В качестве заземляющих рекомендуется применять неизолированные стальные проводники. Наименьшие размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников по соображениям стойкости против коррозии указаны в таблице 4.1. Заземляющие проводники в сетях с изолированной нейтралью нужно выбирать, кроме того, такого сечения, чтобы их проводимость составляла не менее 1/3 проводимости фазных проводов на данном участке. Стальные заземляющие проводники на деревянных опорах должны быть диаметром не менее 10 мм при напряжении ЛЭП выше 1000 В и не менее 6 мм при напряжении до 1000 В.

В качестве заземляющих можно применять и проводники из цветных металлов. Неизолированные алюминиевые проводники нельзя прокладывать в непосредственном соприкосновении с землей из-за их быстрой коррозии. В зданиях они должны иметь сечение не менее 6 мм^2, а медные — не менее 4 мм^2.

Каждый заземляемый элемент установки присоединяют к заземляющей магистрали отдельным проводником. Нельзя последовательно включать несколько заземляемых частей в заземляющий проводник. Кроме специальных заземляющих проводников дополнительно к ним, а если будет достаточно по проводимости, то и вместо них следует применять, когда это возможно, металлические конструкции зданий, каркасы распределительных устройств, подкрановые пути, стальные трубы электропроводок и других трубопроводов в земле (кроме содержащих горючие или взрывоопасные газы и жидкости и кроме трубопроводов канализации и центрального отопления), а также алюминиевые оболочки любых кабелей. Независимо от использования этих проводников и конструкций в качестве заземляющих все они, а также все металлические оболочки проводов должны быть соединены с заземляющим устройством во всех помещениях, где применяют заземление. Места соединений отдельных частей этих конструкций олжны иметь хороший электрический контакт. Например, в трубопроводах муфты надо выполнять на сурике, а задвижки и другие места возможного разъединения трубопровода при ремонте должны иметь обходные электрические соединения. При использовании участков металлических конструкций их нужно соединять сваркой с помощью стальных шин сечением не менее 100 мм^2. Нейтрали генераторов и трансформаторов заземляют только специально проложенными проводниками.

Заземляющие проводники надо защищать от коррозии. В сухих помещениях без агрессивной среды их допускается прокладывать непосредственно по стенам, а в остальных случаях – на расстоянии не менее 10 мм от них. Прокладывать заземляющие проводники через стены нужно, как правило, с непосредственной заделкой, но в этом месте они не должны иметь со-

единений и ответвлений. У мест прохода должны быть опознавательные знаки.

4.1.3 Нормирование сопротивления заземляющих устройств

Сопротивление заземляющего устройства указано в ПУЭ. Предусматривают также параллельное нормирование напряжений прикосновения и шага. Здесь ограничимся лишь нормированием $R_З$ и соответствующей методикой расчета.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью (110 кВ и выше) в любое время года $R_З < 0,5$ Ом при удельном электрическом сопротивлении земли $\rho < 500$ Ом·м. Иначе $R_З < 0,001\ \rho$ Ом.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (с номинальным напряжением до 35 кВ) сопротивление заземляющего устройства должно удовлетворять следующим условиям:

$$R_З \le 250 / I_З \text{ Ом},$$

$$R_З \le 10 \text{ Ом},$$

где 250 – потенциал заземлителя, В;

$I_З$ – расчетный ток замыкания на землю, протекающий через заземлитель.

Если заземляющее устройство одновременно используется для установок напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью и установок напряжением до 1000 В, вместо указанных необходимо соблюдать следующие условия:

$$R_З \le 125 / I_З \text{ Ом},$$

$$R_З \le 10 \text{ Ом},$$

где $I_з$ определено выше.

Таблица 4.2 – Максимально допустимые значения сопротивления заземляющих устройств, используемых в системе зануления при $\rho \le 100$ Ом·м

Сопротивление заземляющих устройств	Максимально допустимые сопротивления заземлений, Ом, при номинальных напряжениях, В		
	220/127	380/220	660/380
Нейтрали источника	8	4	2
Повторного заземления или заземлителя нейтрали вблизи нее	60	30	15
Результирующее сопротивление заземления нулевого провода одной линии	20	10	5

Во всех электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью для земли с удельным сопротивлением ρ более 500 Ом·м допускается увеличить сопротивление заземлителя $R_З$ в ρ/500 раз (но не более чем в 10 раз), если мероприятия по снижению сопротивления, указанные ранее для случая, когда ρ > 200 Ом·м, не позволяют получить приемлемые по экономическим соображениям заземлители, соответствующие нормам.

Если к заземляющему устройству присоединены заземленные нейтрали обмоток трансформаторов или генераторов напряжением до 1000 В, то его сопротивление должно соответствовать еще и требованиям, указанным в таблице 4.2. Если ρ > 100 Ом·м, то все нормы из этой таблицы увеличивают в ρ/100 раз, но не более чем в 10 раз. Например, при напряжении 380/220 В $R_З$ = 4 ρ/100 Ом, но не более 40 Ом, когда ρ ≥ 1000 Ом·м.

На сельской электростанции с генератором напряжением 380/220 В и распределением электроэнергии по линиям того же напряжения это требование к сопротивлению заземлителя нейтрали единственное, а на ТП напряжением 6...35/0,4 кВ должны также соблюдаться условия для установок с изолированной нейтралью ($R_З$= 125/$I_З$ и $R_З$ = 10 Ом), причем для соблюдения двух последних условий не следует учитывать в качестве естественных заземлителей нулевые провода отходящих от ТП воздушных линий напряжением до 1000 В с повторными и грозозащитными заземлениями этих проводов. Иначе получится, что при замыкании на заземлитель ТП потенциал 125 В появится на ближайших повторных заземлениях отходящих линий и на зануленных частях объектов, на вводе в которые устроены эти заземления. Причем в отличие от территории ТП, где действует выравнивание потенциалов, на этих объектах (например, в мастерской) оно может отсутствовать, так что и напряжение прикосновения будет близко к 125 В. Если же последние условия выполнены без учета нулевых проводов ВЛ, то повторные заземления значительно снизят значения потенциалов на зануленных частях.

В качестве повторного заземления на вводе в здание можно рассматривать грозозащитное заземление изоляторных крюков на опоре ВЛ с ответвлением к вводу в это здание, где и нулевой провод заземляют для грозозащиты.

При определении результирующих сопротивлений всех повторных и грозозащитных заземлений нулевого провода разрешается учитывать не фактические сопротивления каждого отдельного повторного заземления, а максимально допустимые для них (см. таблицу 4.2) с учетом ρ. Допускается не учитывать сопротивления участков нулевого провода между повторными заземлениями, а также между ними и заземлением нулевой точки. Для повторных заземлений в первую очередь нужно использовать естественные заземлители, в частности подземную часть железобетонных опор (что допускается из-за обычной кратковременности однофазных замыканий на зануленное оборудование, а на ВЛ 6...35 кВ – нет, так как там замыкания длительные).

В соответствии с ГОСТ Р 50571.10–96 свинцовые оболочки кабелей и стальные трубопроводы в земле можно использовать в качестве естественных заземлителей только в случае, если проектная организация получит

письменное обязательство от владельца кабелей, трубопроводов не заменять их на изготовленные из другого материала или других размеров без извещения об этом электроснабжающей организации. Однако и в этом случае не рекомендуется их учитывать, если владелец – посторонний для электроснабжающей организации. При проектировании заземлителей сельских потребителей подстанций это означает, что в большинстве случаев учитывать свинцовые оболочки и водопроводные трубы не следует, так как в сельской местности такие кабели используют редко. Водопровод, проложенный вблизи подстанции, как правило, не принадлежит электроснабжающей организации. Естественными заземлителями на ТП напряжением 6...10 кВ обычно служат нулевые провода ВЛ, отходящих от ТП, с повторными и грозозащитными на них заземлениями при числе ВЛ не менее двух на случай отсоединения одной из них для ремонта. Такие заземлители можно учитывать лишь для обеспечения условия R = 4 Ом (или $4\rho_р/100$ при $\rho_р > 100$ Ом·м, где $\rho_р$ – эквивалентное расчетное значение удельного сопротивления грунта, определенное в параграфе 4.1.4).

Пример. Определить, каким должно быть в соответствии с нормами сопротивление искусственного заземлителя $R_{И.З}$ трансформаторной подстанции молочно-товарной фермы напряжением 10/0,4 кВ при расчетной силе тока замыкания на землю в сети напряжением 10 кВ $I_З$ = 13 А и удельном сопротивлении земли $\rho_р$ = 200 Ом·м. На двух из трех отходящих от подстанции воздушных линиях напряжением 380/220 В число повторных и грозозащитных заземлений нулевого провода по 3, а на третьей – 6. Других естественных заземлителей нет.

Решение. Поскольку заземлитель будет использоваться для заземления оборудования и нейтральной точки обмотки, питающей сеть напряжением 380/220 В, надо соблюсти три условия: $R_З \le 125/13 = 9{,}6$ Ом, $R_З \le 10$ Ом и, учитывая, что $\rho_р > 100$ Ом·м, $R_З \le 4 \cdot 200/100 = 8$ Ом. Последнее условие наиболее жесткое. Результирующее сопротивление естественных заземлителей с учетом ремонта одной из линий (в худшем случае той, где заземлений больше) равно результирующему сопротивлению всех оставшихся заземлений. Учтем, что сопротивление одного из повторных заземлений при $\rho_р$ = 200 Ом·м

$$R_п = 30 \cdot 200/100 = 60 \text{ Ом}$$

Результирующее сопротивление естественных заземлителей в виде заземлений нулевых проводов отходящих от ТП линий

$$R_е = R_п / n = 60/(3+3) = 10 \text{ Ом}$$

Необходимое сопротивление искусственного заземлителя ТП по условию заземления нулевой точки

$$R_и = \frac{R_е \cdot R_з}{R_е - R_з} = \frac{10 \cdot 8}{10 - 8} = 40 \text{ Ом}$$

что не превышает и значения $R_п = 30 \cdot 200/100 = 60$ Ом (формула для $R_и$, получена из формулы параллельного сложения двух сопротивлений).

Однако, как указывалось ранее, для обеспечения первых двух из пере-

численных условий учитывать заземления нулевых проводов отходящих линий нельзя. Поэтому, когда нет других естественных заземлителей, искусственный заземлитель должен обеспечить выполнение и наиболее жесткого из первых двух условий, т. е. $R_з \le 9{,}6$ Ом, что менее 40 Ом. Окончательно принимают $R_и \le 9{,}6$ Ом.

В случае, если бы в этом примере оказалось $R_е < R_З$, то нельзя было бы определить $R_и$ по приведенной в примере формуле из-за отрицательного результата, что для заземлителей лишено физического смысла. Тогда для заземления нейтрали следовало бы принять $R_и \le 30$ Ом при $\rho_р < 100$ Ом·м (в нашем случае при $\rho_р = 200$ Ом·м принимают $R_и \le 30 \cdot 200/100 = 60$ Ом). Но по первому или второму условию всегда получается меньше, поэтому при отсутствии других естественных заземлителей, кроме повторных и грозозащитных заземлений нулевых проводов, последние тоже невозможно учесть, если $R_е \le R_З$. Тогда принимают меньшее значение, полученное из первых двух условий.

На подстанции напряжением 35/6...10кВ при отсутствии молниеотводов на порталах разрешается использовать условия для установок с $U_Н > 1000$ В и не учитывать условие $R_З \le 4$ Ом, несмотря на присоединение к этому заземлителю нейтрали трансформатора собственных нужд 6...10/0,4 кВ, если он питает только электроприемники, находящиеся в пределах заземляющего контура подстанции или в производственно-служебном помещении, расположенном в непосредственной близости от нее.

Металлические опоры и арматуру железобетонных опор на линиях напряжением 3...35кВ заземляют. Сопротивления заземлителей для опор при измерении летом в период наибольшего просыхания грунта на всех линиях напряжением 35 и 3...10 кВ, проходящих в населенной местности, должны быть следующими:

$R_З \le 10$ Ом в грунтах с $\rho < 100$ Ом·м (глина, торф);

$R_З \le 15$ Ом при $100 < \rho \le 500$ Ом·м (суглинок, чернозем);

$R_З \le 20$ Ом при $500 < \rho \le 1000$ Ом·м (песок);

$R_З = 30$ Ом при $1000 < \rho < 5000$ Ом·м (каменистый грунт);

$R_З = 6 \cdot 10^{-3}\ \rho$ при $\rho < 5000$ Ом·м (скала).

Для линий напряжением 3...10 кВ в ненаселенной местности $R_З \le 30$ Ом при $\rho = 100$ Ом·м и $R_З \le 30\rho/100$ Ом при $\rho > 100$ Ом·м.

Если на опорах линий напряжением выше 1000 В установлены разъединители или другие аппараты, то их приводы заземляют на заземлитель с $R_З \le 10$ Ом.

Требования к $R_З$ трубчатых разрядников, устанавливаемых на опорах ЛЭП для защиты РУ, к которым присоединены эти ВЛ, жестче, чем требования к заземлениям по условиям электробезопасности. Также жестче они к заземляющим устройствам подстанций напряжением 35/6...10 кВ при установке молниеотвода на портале, а не на отдельной опоре. Тогда сопротивление его заземлителя, общего с заземлителем всего электрооборудования, должно быть не более 4 Ом при любом ρ без учета заземлителей, расположенных за пределами контура заземлителя подстанции.

4.1.4 Расчет искусственных заземлителей в однородном грунте

Удельное электрическое сопротивление ρ однородной по электрическим свойствам земли равно сопротивлению 1 $м^3$ грунта, если обеспечен хороший контакт с подводящими ток проводами по всей плоскости противоположных граней. Оно зависит от структуры грунта, наличия солей и влажности. Рекомендуемые для ориентировочных расчетов приблизительные значения ρ, Ом·м, приведены ниже.

Колебания влажности грунта летом в связи с высыханием сильно влияют на ρ. Например, для красной глины ρ уменьшается приблизительно в 13 раз с увеличением влажности от 10 до 20 %. Из-за промерзания грунта сильно увеличивается ρ. Стержневые заземлители рекомендуется забивать ниже глубины промерзания и по возможности ниже низшего уровня грунтовых вод. Однако, учитывая, что значительная часть стержней длиной 2...5 м лежит в зоне, подверженной сезонным колебаниям ρ, при проектировании заземляющего устройства в формулы подставляют расчетное значение (приблизительно максимальное зимнее) удельного сопротивления земли $\rho_p = k_c \cdot p$, где k_c – коэффициент сезона, позволяющий приблизительно учесть увеличение ρ при промерзании земли. В таблице 4.3 приведены значения коэффициента сезона при измерении ρ земли на месте будущего сооружения заземлителя в периоды: максимальной влажности грунта (k_1), средней (k_2) и наименьшей (k_3), когда давно не было дождя. Эти коэффициенты зависят от климатических зон и учитывают увеличение ρ в активном (верхнем) слое земли, ориентировочная толщина которого также указана в таблице.

Тип грунта	ρ, Ом·м
Каменистый грунт: гранит, гнейс	$700...10^6$
Сланец, ракушечник, известняк	100...1000
Песок при залегании грунтовых вод:	
глубже 5 м	1000
менее 5 м (влажный)	600
Супесь влажная	150
Суглинок	100
Глина, вода равнинной реки	50
Торф	20
Морская вода	1
Чернозем	20…50
Садовая земля	40

Значение ρ можно не измерять, а принимать при ориентировочных расчетах по ранее приведенным рекомендациям в зависимости от характера грунта, предположив, что он имеет однородную структуру (обычно так рассчитывают заземлители для повторных заземлений нулевого провода или для производственных объектов и потребительских подстанций с вторичным напряжением 380/220 В). Коэффициент сезона в этом случае принимают по

той же таблице 4.3 различным для горизонтальных полос $k_{сг}$ и для вертикальных стержней $k_{св}$.

Пример. Проектируемый вертикальный стержневой заземлитель для овцеводческой ферме (кашары) длиной 2,5 м с заложением вершины на глубину 0,7 м располагается в однородном глинистом грунте в районе, который согласно таблице 4.3 относят к IV климатической зоне. По приведенным ранее рекомендациям принимают для глины ρ = 50 Ом·м, а из таблицы 5.3 находят среднее значение $k_{св}$ = 1,3. Расчетное значение удельного сопротивления грунта $\rho_р = k_{св} \cdot \rho = 1{,}3 \cdot 50 = 65$ Ом·м.

Таблица 4.3 – Значения коэффициентов сезона в различных климатических зонах

№ зоны	Характеристики и примеры климатических зон					
	Средняя многолетняя температура, °С		Среднее годовое количество осадков, см	Продолжительность стояния льда, дни	Минимальная толщина активного слоя, м, *h*	Примеры зон (область, край)
	января	июля				
I	-20...-15	15...18	40	170...190	2,2	Кировская
II	-15.2...-10	18...22	50	150	2,0	Ленинградская, Московская
III	-10...0	22...24	50	100	1,8	Курская, Смоленская, Ростовская
IV	0...5	24...25	30...50	0	1,6	Краснодарский край

Продолжение таблицы 4.3

№ зоны	Коэффициент сезонности $К_{С2}$			При расчете табличным методом для элементов		
	Влажность во время измерения			горизонтальных при глубине t = 0,8 м, $k_{сг}$	вертикальных с глубиной вершины t, м, и длиной $l_в$, м, $k_{св}$	
	повышенная	нормальная	малая		$l_в$ = 2…3, t = 0,5…0,8	$l_в$ = 5, t = 0,7…0,8
I	7,0	4,0	2,7	4,5...7,0	1,8...2,0	1,35
II	5,0	2,7	1,9	3,5...4,5	1,6...1,8	1,25
III	3,0	2,0	1,5	2,0...2,5	1,4...1,6	1,15
IV	2,5	1,4	1,1	1,5…1,4	1,2...1,4	1,1

Значения коэффициентов сезона, а значит, и удельных сопротивлений $\rho_{рг}$, $\rho_{рв}$ различны, потому что горизонтальные элементы лежат целиком в активном слое, а вертикальные той или иной частью находятся ниже. Получается, что и при однородной структуре земли она при расчетах фактически рассматривается как двухслойная. Однако, когда определяют допустимое сопротивление заземляющего устройства, состоящего из горизонтальных и вертикальных элементов, приходится использовать в качестве $\rho_р$ одно эквивалентное удельное сопротивление $\rho_э$, т. е. удельное сопротивление однородной земли, в которой заземлитель имеет такое же сопротивление, как в фактически неоднородной земле. Это удельное сопротивление имеет значение, лежащее между $\rho_{рг}$ и $\rho_{рв}$. Его находят по методикам, учитывающим конструкцию и намечаемые размеры элементов заземляющего устройства, а также толщину активного слоя. Здесь их не приводим. При ориентировочных расчетах, в которых используются приведенные выше значения ρ в за-

висимости от характера грунта и приблизительные значения коэффициентов сезона из таблицы 4.3, можно принимать в качестве эквивалентного значения удельные сопротивления для тех элементов, суммарная длина которых преобладает в данной конструкции заземлителя, возможно с некоторым корректированием в сторону усреднения. Для заземляющего устройства подстанции это может быть $\rho_{рг}$, а для заземлителя опоры ВЛ в виде ряда вертикальных элементов – $\rho_{рв}$.

Сопротивление одного электрода в виде круглого стержня, заглубленного вертикально вровень с землей,

$$R_в = \frac{\rho_{рв}}{2\pi l_в} \ln \frac{4l_в}{d} = 0{,}336 \frac{\rho_{рв}}{l_в} \lg \frac{4l_в}{d},$$

где $\rho_{рв}$ – расчетное удельное сопротивление грунта для вертикальных элементов;

$l_в$ и d – соответственно длина и диаметр стержня.

По этой же формуле можно определить сопротивление растеканию от стержня из стали с угловым профилем, принимая $d \cong 0.95\,B$ или $d \cong 95\,B$, где B – ширина полки уголка. Для стержня, у которого верхний конец находится на глубине до 0,8 м, сопротивление

$$R_в = 0{,}336 \frac{\rho_в}{l_в} \left(\lg \frac{2l_в}{d} + 0{,}5 \lg \frac{4t + 3l_в}{4t + l_в} \right)$$

где t – расстояние от поверхности земли до вершины стержня.

Сопротивление заземления горизонтальной полосы длиной $l_г$ и шириной b, положенной на ребро на глубине t от поверхности земли,

$$R_г = \frac{\rho_{рг}}{2\pi l_г} \ln \frac{2l_г^2}{bt} = 0{,}366 \frac{\rho_{рг}}{l_г} \lg \frac{2l_г^2}{bt}$$

где $\rho_{рг}$ – расчетное удельное сопротивление для горизонтальных элементов.

Эту же формулу используют при расчете прямого горизонтального заземлителя из круглого стального стержня диаметром $d_г$, подставляя $b = 2d_г$.

Для заземлителя в виде горизонтальной сетки или сетки с вертикальными электродами по периметру можно применять формулу

$$R_с = 0{,}44 \frac{\rho_р}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_р}{L}$$

где S – площадь, занятая заземлителем;

L – общая длина проводников заземлителя, включая длины вертикальных элементов и выравнивающих полос.

Пример. Определить сопротивление заземлителя в виде горизонтальной замкнутой сетки площадью 70 х 16 м, образованной четырьмя продольными выравнивающими потенциал горизонтальными элементами заземлите-

ля в бетонном полу коровника, уложенном на песчаную подушку, и четырьмя поперечными элементами. Грунт – суглинок. Его удельное сопротивление с учетом песчаной подушки $\rho_р$ = 300 Ом·м.

Общая длина проводников заземлителя L = 4 ·70 + 4 · 16 = 344 м.

$$R_с = 0{,}44 \cdot 300 / \sqrt{70 \cdot 16} + 300 / 344 = 4{,}56 \text{ Ом}$$

При ориентировочных расчетах можно находить сопротивление заземлителей различных конструкций, расположенных в однородном грунте, по упрощенной формуле

$$R = c \cdot \rho_p / l ,$$

где с – коэффициент; с = 1,7 для лежащего в земле горизонтального прямого стержня круглого сечения диаметром 6...20 мм (или прямоугольного сечения с большей стороной 12...40 мм) на глубине 0,7 м; с = 1 для вертикального стержня; с = 0,5 для полого контура, охватывающего площадь 10...15 м^2, если он лежит на глубине 0,7 м; с = 0,45 для сетки, расположенной на глубине 0,7 м и пластины, лежащей на поверхности земли;

l – длина одиночного вертикального или горизонтального заземлителя (для пластины, сетки или выпуклого полного замкнутого контура, охватывающих площадь S, подставлять $l = \sqrt{S}$).

Если бы в сложном заземляющем устройстве отдельные вертикальные стержни были расположены один относительного другого на расстоянии ≥ 40 м, то они не влияли бы на растекание тока, а результирующее сопротивление всех стержней заземляющего устройства было бы $R_{вр} = R_в/n$, где $R_в$ – сопротивление одного стержня, n – число стержней. Однако обычно расстояние между стержнями соизмеримо с их длиной. Они взаимно экранируют один другого и затрудняют растекание тока в земле. Результирующее сопротивление заземляющего устройства увеличивается:

$$R_{вр} = R_в /(n\eta_в) ,$$

где $\eta_в$ – коэффициент использования вертикальных стержней в заземлителе, меньше единицы.

Таблица 4.4 – Значения коэффициента использования вертикальных стержней в ряду $\eta_в$ в зависимости от отношения расстояния между стержнями *a* к длине и их числа

$Q = a / l_в$	Число стержней									
	2	3	4	5	б	7	8	9	10	11
1	0,86	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
2	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73
3	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81

Значение $\eta_в$ (таблицы 4.4 и 4.5) зависит от Q – отношения расстояния между стержнями а к длине стержня $l_в$, количества стержней n и их расположения (в ряд или по контуру).

Таблица 4.5 – Значения коэффициента использования вертикальных стержней в замкнутом контуре $\eta_в$ в зависимости от отношения расстояния между стержнями *a* к длине и их числа

$Q = a / l_в$	Число стержней					
	4	8	12	16	20	40
0,5	0,59	0,47	0,40	0,35	0,30	–
1,0	0,66	0,56	0,50	0,47	0,44	0,41
1,5	0,71	0,63	0,59	0,56	0,51	–
2,0	0,76	0,68	0,65	0,63	0,61	0,58
3,0	0,84	0,77	073	0,70	0,68	0,66

Соединительные полосы между стержнями уменьшают сопротивление заземляющего устройства, но по сравнению с горизонтальным лучевым заземлителем той же протяженности они имеют большее сопротивление из-за экранирования стержнями: $R_{гр} = R_г / \eta_г$, где $\eta_г$ – коэффициент использования горизонтальных соединительных элементов (таблицы 4.6 и 4.7).

Таблица 4.6 – Значения коэффициента использования горизонтальных соединительных элементов в ряду вертикальных стержней $\eta_г$ в зависимости от отношения расстояния между стержнями *a* к длине и их числа

$Q = a / l_в$	Число стержней									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,84	0,76	0,71	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55
2	0,90	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
3	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78

Таблица 4.7 – Значения коэффициента использования горизонтальных соединительных элементов в замкнутом контуре из вертикальных стержней $\eta_г$ в зависимости от отношения расстояния между стержнями *a* к длине и их числа

$Q = a / l_в$	Число стержней					
	4	8	12	16	20	40
0,5	0,41	0,34	0,30	0,28	0,25	–
1,0	0,45	0,36	0,32	0,30	0,27	0,22
1,5	0,49	0,40	0,35	0,32	0,29	–
2,0	0,55	0,43	0,38	0,35	0,32	0,29
3,0	0,70	0,60	0,54	0,50	0,45	0,39

Результирующее сопротивление заземлителя, состоящего из стержней и полос, определяют по формуле параллельного сложения их сопротивлений.

При заранее неизвестных размерах заземлителя целью расчета является их определение.

Пример. Выбрать размеры заземлителя для повторного заземления на деревянной опоре ВЛ-380/220 В в виде ряда из вертикальных стержней длиной $L_в$ = 3 м каждый. Грунт – супесь, где ρ = 150 Ом·м; климатический район – I, где по таблице 4.3 можно принять коэффициенты сезона: $k_{сг}$ = 6; $k_{св}$ = 1,8, т.е. расчетные значения удельного сопротивления $\rho_{рв} = 1{,}8 \cdot 150 = 270$ Ом·м и $\rho_{рг} = 6 \cdot 150 = 900$ Ом·м. Принято, что эквивалентное значение $\rho_э = \rho_{рв}$. Проектируемое заземление – одно из двух на данной ВЛ заземлений нулевого провода, т. е. его допустимое сопротивление должно было бы при $\rho_э \le 100$ Ом·м быть не более 20 Ом, чтобы результирующее для данной ВЛ сопротивление заземления нулевого провода составляло 20/2 = 10 Ом, необходимое по таблице 4.2. Значит, при $\rho_{рв}$ = 270 Ом·м допустимое сопротивление $R_{зд} = 20 \cdot 270/100 = 54$ Ом.

Решение. Для ориентировочного определения нужного числа вертикальных стержней примем, что $\eta_{вр} = 1$ и что одни стержни должны обеспечить $R_{зд}$ = 54 Ом. Сопротивление стержня по упрощенной формуле $R_в = c_в \cdot \rho_{рв} / L_в = 1 \cdot 270/3 = 90$ Ом. Ориентировочно число стержней $n \cong R_в / R_{зд} = 90/54 = 1{,}67$. Принято 2 шт. Определено при Q = 1 по таблице 4.4 $\eta_{вр}$ = 0,86. Получено: $R_З = R_в(n \cdot \eta_{вр}) = 90/(2 \cdot 0{,}86) = 52{,}3$ Ом, т. е. менее $R_{зд}$ = 54 Ом.

Если бы оказалось больше, следовало бы учесть влияние горизонтальной части. $L_г$ = 3 м. По таблице 4.6 $\eta_{гр}$ = 0,84. По упрощенной формуле получено $R_{гр} = c_г R_{гр} / (L_г \eta_{гр}) = 1{,}7 \cdot 900/(3 \cdot 0{,}84) = 608$ Ом; $R_З = R_в \cdot R_{гр}/(R_{вр} + R_{гр}) = 52{,}3 \cdot 608/(52{,}1 + 608) = 48{,}3$ Ом. Если учет горизонтальной части снизил $R_З$, недостаточно, следовало бы увеличить Q или n.

4.1.5 Расчет искусственных заземлителей в двухслойном грунте

Расчет искусственных заземлителей в двухслойной модели грунта ведется на примере простых заземляющих устройств, служащих в основном для заземления электрооборудования в сетях напряжением до 1000 В.

Пример.

Условия задачи.

Рассчитать заземляющее устройство подстанции 10/0,4 кВ для ремонтной мастерской, повторное заземление нулевого провода, сопротивление заземления линий 0,4 кВ и всей системы зануления участка сети, питающегося от этой подстанции.

Протяженность воздушных линий на стороне 10 кВ $L_В$=50 км, кабельных линий $L_К$=10 км. Нейтраль трансформатора на стороне 0,4 кВ заземлена.

От подстанции отходит три воздушных линии 0,4 кВ. Количество по-

вторных заземлений нулевого провода на линиях: 5, 7 и 13.

Удельное сопротивление земли, измеренное в период ее нормальной влажности с помощью пробного электрода длиной 3 м,

$$\rho_{изм}=100 \text{ Ом·м}.$$

Подстанция расположена в Ростовской области. Естественные заземлители отсутствуют.

Расчет заземляющего устройства подстанции.

Определение расчетного тока замыкания на землю.

В установках с малыми токами замыкания на землю, к которым относятся сети до 35 кВ включительно, расчетный ток однофазного замыкания на землю определяется по формуле

$$I_З = \frac{U}{350}\left(35L_К + L_В\right),$$

где U – линейное напряжение сети выше 1000 В, имеющееся в электроустановке, кВ;

$L_К$, $L_В$ – длины, электрически связанных кабельных и воздушных линий.

Для данного примера

$$I_З = \frac{10}{350}\left(35\cdot 10 + 50\right) = 11{,}43 \ \ A.$$

Определение требуемого сопротивления заземляющего устройства.

Наибольшее допустимое значение сопротивления заземляющего устройства составляет

$$R \le \frac{125}{I_З}$$

при изолированной нейтрали и условии, что заземлитель используется одновременно и для установок напряжением до 1000 В.

$$R = \frac{125}{11{,}43} = 10{,}94 \ \ Ом;$$

$R \le 10 \ \ Ом$ – при изолированной нейтрали для электроустановок напряжением >1000 В с малыми токами замыкания на землю;

$R \le 30 \ \ Ом$ – в любом случае.

Из трех условий выбираем самое жесткое, т.е. $R \le 10 \ \ Ом$.

Выбор типа заземлителя.

Принимаем вертикальные электроды, расположенные по контуру и соединенные горизонтальным заземлителем.

В качестве вертикального электрода выбираем стальной стержень длиной $l_в$=5 м, диаметром d=0,014 м.

Для защиты от механических повреждений, усиленной коррозии и повышения стабильности сопротивления заземлителя, верхняя часть электрода погружается на глубину 0,5 м (рисунок 4.5).

Определение расчетных параметров грунта.

Условная толщина слоя сезонных изменений (минимальная толщина активного слоя) *h* определяется по таблице 4.3 в зависимости от климатической зоны расположения электроустановки. Зона определяется по климатическим признакам таблицы 4.3.

Ростовская область относится к III климатической зоне, поэтому $h = 1{,}8$ м.

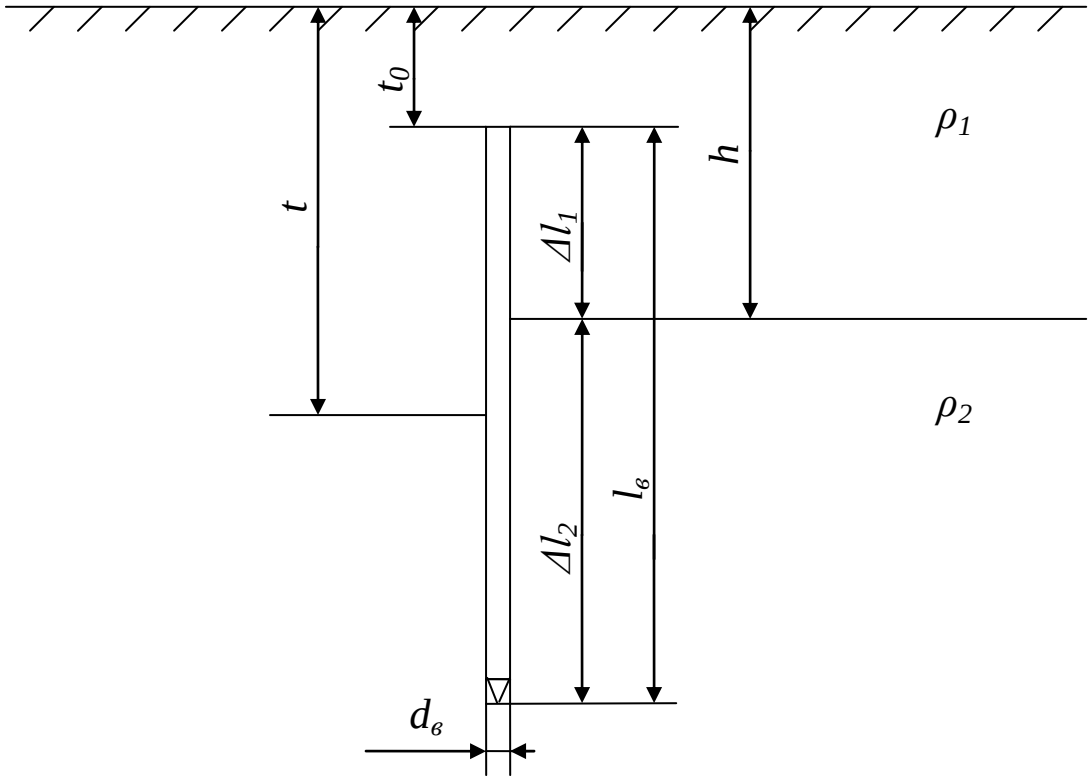


Рисунок 4.5 – Вертикальный электрод в двухслойном грунте.

Для двухслойной модели земли необходимо иметь значения удельных сопротивлений нижнего ρ_2 и верхнего слоев грунта ρ_1.

Таблица 4.8 – Значения сезонного коэффициента $К_с$

Электрод	Глубина заложения	Значения сезонного коэффициента, $К_с$			
		Климатические зоны			
		I	II	III	IV
Вертикальный					
l=3м	Верхний конец на глубине 0,5-0,8м	1,65	1,45	1,3	1,1
l=5м		1,35	1,25	1,15	1,1
Горизонтальный					
l=10м	0,5-0,8м	5,5	3,5	2,5	1,5
l=50м		4,5	3,0	2,0	1,4

Удельное сопротивление нижнего слоя грунта определяется в зависимости от типа вертикального электрода, использованного для определения

$\rho_{изм}$ и состояния земли в момент измерений

$$\rho_2 = K_c \cdot K \cdot \rho_{изм},$$

где K_c – сезонный коэффициент;

K – коэффициент, учитывающий состояние земли во время измерения методом простого пробного электрода. Принимается для вертикальных и горизонтальных заземлителей *К=1* /18/.

По таблице 4.8 находим: K_c=1,15.

$$\rho_2 = 1{,}15 \cdot 1 \cdot 100 = 115 \ Ом \cdot м.$$

Удельное сопротивление верхнего слоя определяется по формуле

$$\rho_1 = K_{c2} \cdot \rho_2,$$

где K_{c2} –коэффициент сезона, учитывающий повышение удельного сопротивления верхнего слоя в результате его промерзания или просыхания, по таблице 4.3 K_{c2}=2.

$$\rho_1 = 2 \cdot 115 = 230 \ Ом \cdot м.$$

Определение сопротивления одного вертикального заземлителя.

По формуле

$$r_B = \frac{0{,}366\left(\lg\frac{2l_B}{d_B} + 0{,}5\lg\frac{4t + l_B}{4t - l_B}\right)}{\frac{\Delta l_1}{\rho_1} + \frac{\Delta l_2}{\rho_2}},$$

где t – глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода, м;

l_B – длина электрода, м;

d_B – внешний диаметр электрода, м;

Δl_1, Δl_2 – части длины электрода, находящиеся соответственно в верхнем и нижнем слоях земли, м;

$$r_B = \frac{0{,}366\left(\lg\frac{2 \cdot 5}{0{,}014} + 0{,}5\lg\frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5}\right)}{\frac{1{,}3}{230} + \frac{3{,}7}{115}} = 29{,}5 \ Ом.$$

$$t = 0{,}5 l_B + t_0 = 2{,}5 + 0{,}5 = 3 \ м.$$

$$\Delta l_1 = h - t_0 = 1{,}8 - 0{,}5 = 1{,}3 \ м; \quad \Delta l_2 = l_B - \Delta l_1 = 5 - 1{,}3 = 3{,}7 \ м.$$

Определение количества вертикальных заземлений.

Делая допущения, что требуемая проводимость заземляющего устройства обеспечивается только за счет проводимости вертикальных электродов, определим предварительное их количество по формуле:

$$n'_B = \frac{r_B}{R \cdot \eta},$$

где η - коэффициент использования вертикальных заземлителей, принятый ориентировочно равным 0,75.

$$n'_B = \frac{29,5}{10 \cdot 0,75} = 3,93.$$

Принимаем $n_B=4$.

Вертикальные электроды располагаем в вершинах квадрата и принимаем расстояние между ними равное их длине – 5 м.

Сопротивление вертикальных электродов с учетом уточненного значения коэффициента использования по таблице 4.5 $\eta_в=0,66$

$$R_B = \frac{r_B}{n_B \cdot \eta_B} = \frac{29,5}{4 \cdot 0,66} = 11,2 \ \ Ом.$$

В качестве полосы соединений (горизонтальных электродов) целесообразно использовать такой же металл, т.е. сталь круглого сечения $d_2=0,014$ м. Тогда горизонтального заземлителя длина $l_2=20$ м.

Сопротивление горизонтального заземлителя без учета экранирования от вертикальных электродов определим по формуле

$$r_2 = \frac{0,365 \cdot \rho_1}{l_2} \cdot \lg \frac{{l_2}^2}{t_0 \cdot d_2}.$$

$$r_2 = \frac{0,365 \cdot 230}{20} \cdot \lg \frac{20^2}{0,5 \cdot 0,014} = 15,8 \ \ Ом.$$

Если в качестве горизонтального заземлителя (горизонтальных электродов) используется полова длиной l_2 и шириной b, положенной на ребро на глубине t_0, то ее сопротивление определяют по формуле:

$$r_2 = \frac{0,365 \cdot \rho_1}{l_2} \cdot \lg \frac{2{l_2}^2}{b \cdot t_0}.$$

Сопротивление горизонтального заземлителя с учетом экранирования от вертикальных электродов определим по формуле:

$$R_2 = \frac{r_2}{\eta_2},$$

где η_2 – коэффициент использования горизонтального электрода, соединяющего вертикальные электроды, по таблице 4.7 $\eta_2=0,45$.

$$R_2 = \frac{15,8}{0,45} = 35,1 \ \ Ом.$$

Сопротивление заземляющего устройства подстанции определим по формуле:

$$R = \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B};$$

$$R = \frac{35{,}1 \cdot 11{,}2}{35{,}1 + 11{,}2} = 8{,}5 \ \ Ом < 10 \ \ Ом.$$

Расчет повторного заземления нулевого провода.

Сопротивление повторного заземления нулевого провода должно быть не более 30 Ом /1,15/.

$$R_п \le 30 \ \ Ом.$$

Для выполнения повторного заземления нулевого провода предусматриваем использования вертикальных электродов диаметром 14 мм, погруженных в землю на глубину 0,5 м.

Поскольку r_B=29,5<30 Ом, поэтому принимаем длину электрода для выполнения повторного заземления равную 5 м.

Расчет сопротивления заземления линии 0,4 кВ.

Сопротивление заземления каждой линии 0,4 кВ определяется по формуле

$$R_л = \frac{1{,}1 R_п}{n_п},$$

где $n_п$ – число повторных заземлений нулевого провода на линии;

1,1 – коэффициент, учитывающий сопротивление нулевого провода линии.

$$R_{л1} = \frac{1{,}1 \cdot 29{,}5}{5} = 6{,}5 \ \ Ом < 10 \ \ Ом$$

$$R_{л2} = \frac{1{,}1 \cdot 29{,}5}{7} = 4{,}6 \ \ Ом < 10 \ \ Ом$$

$$R_{л3} = \frac{1{,}1 \cdot 29{,}5}{13} = 2{,}5 \ \ Ом < 10 \ \ Ом$$

Расчет сопротивления заземления сети 0,4 кВ.

Для ВЛ 380/220 В $R_c \le 4$ Ом /1,15/.

Сопротивление заземления сети определим по формуле

$$R_c = \frac{1{,}1 \cdot r_B \cdot R}{1{,}1 \cdot r_B + R \cdot \Sigma n_п} = \frac{1{,}1 \cdot 29{,}5 \cdot 8{,}5}{1{,}1 \cdot 29{,}5 + 8{,}5 \cdot 25} = 1{,}12 Ом < 4 \ \ Ом,$$

что вполне удовлетворяет требованиям ПУЭ и ГОСТ.

4.1.6 Проверка заземляющих устройств

Согласно Правилам эксплуатации электроустановок потребителей на ВЛ напряжением свыше 1000 В измеряют сопротивление заземляющего устройства при капитальном ремонте ВЛ и межремонтных испытаниях, но не реже чем раз в 12 лет на всех опорах с разрядниками или защитными искровыми промежутками, с секционирующими разъединителями или с другим электрооборудованием. У остальных опор сопротивление проверяют выбо-

рочно у 2 % общего количества опор с заземлителями, расположенными в населенной местности и на участках с агрессивными и плохо проводящими грунтами. Если обнаруживают заземлитель с сопротивлением, не удовлетворяющим норме, то проверяют заземлители соседних опор до тех пор, пока на двух опорах подряд в одном направлении сопротивление не окажется в норме.

На ВЛ напряжением до 1000 В измерения проводят на всех опорах с искусственными заземлителями для грозозащиты или повторного заземления нулевого провода раз в 6 лет. У остальных железобетонных опор сопротивление измеряют выборочно у 2 % опор. Это сопротивление растеканию нижнего заземляющего выпуска от арматуры опоры. Оно не нормируется.

На электростанциях и подстанциях измеряют сопротивление заземления при капитальных и текущих ремонтах их электрооборудования, но не реже чем раз в 6 лет, причем на подстанциях напряжением 35 кВ и ниже – раз в 12 лет.

На объектах потребителей, имеющих заземляющее устройство вокруг здания или в полу, в частности в коровниках с устройствами выравнивания электрических потенциалов, сопротивление заземления измеряют ежегодно.

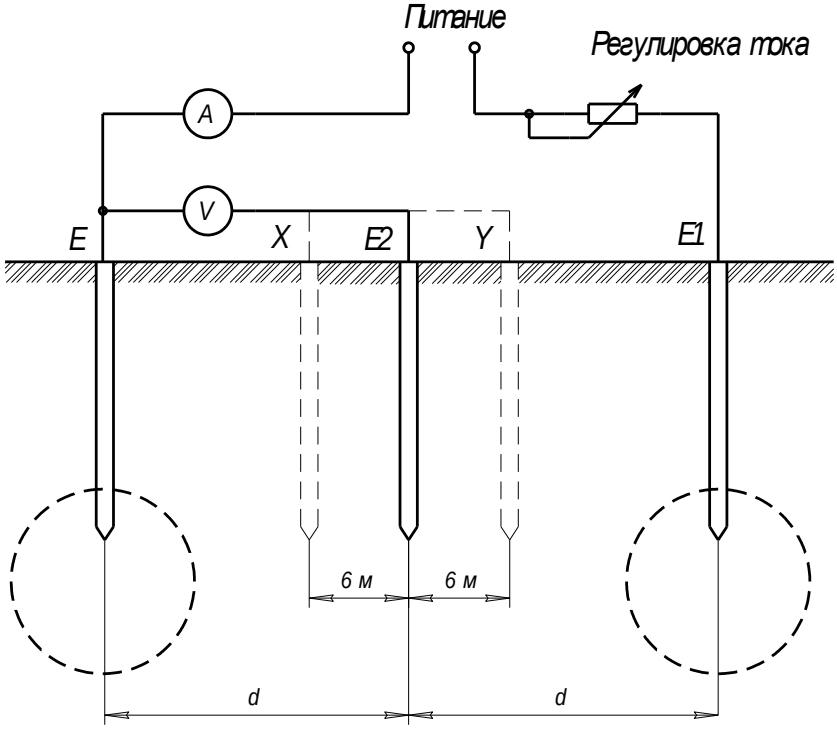
Одновременно с измерением сопротивления на всех перечисленных объектах контролируют визуально состояние элементов заземлителя с выборочным откапыванием и заменяют разрушенные коррозией более чем на 50 % сечения. На ВЛ осматривают заземлители у 2 % железобетонных опор в населенной местности. Обнаружив опору с заземлителем, требующим замены элементов, вскрывают грунт и на соседних опорах до обнаружения удовлетворительных заземлителей на двух опорах подряд в одном направлении. На прочих объектах кроме ВЛ проверяют также состояние подземных контактов у соединений элементов. При неудовлетворительном состоянии повторяют откапывание до обнаружения шести подряд соединений в удовлетворительном состоянии, а неудовлетворительные ремонтируют. Проверку заземлений оформляют актом. Результаты вписывают в технический паспорт установки.

Для измерения сопротивления заземлителя используют специальные измерители заземления типов Ф4103, М416, МС08 или измеритель кажущегося сопротивления ИКС-1, а если они отсутствуют, то амперметр и вольтметр.

По рекомендации ГОСТ Р 50571.16–99 «Приемо-сдаточные испытания» для измерения сопротивления заземлителя пропускают ток неизменной величины между проверяемыми заземлителем Е и вспомогательным электродом заземления Е1 (рисунок 4.6), расположенным на таком расстоянии от Е, чтобы зоны растекания этих заземлителей не перекрывались. Второй вспомогательный электрод Е2 забивают или завинчивают между Е и Е1. Измеряют падение напряжения между Е и Е1. Отношение этой величины к току, протекающему между Е и Е1, равно сопротивлению заземлителя Е. Для проверки правильности результата делают два дополнительных измерения, при которых электрод Е2 переносит на 6 м дальше, а затем на 6 м ближе от Е.

Если 3 полученных результата существенно не различаются, то их среднее значение принимают за сопротивление заземления Е. Иначе измерения повторяют, увеличив расстояние между Е и Е1. При измерении на переменном токе частотой 50 Гц внутреннее сопротивление вольтметра должно быть не менее 200 Ом/В. Вход схемы должен быть отделен от питающей сети, например, разделительным трансформатором. Если измерения выполнены не зимой, а летом, то полученное значение сопротивления умножают на так называемый поправочный коэффициент, учитывающий не только изменения удельного сопротивления земли в активном слое, но и конструкцию и размеры заземлителя. Эти коэффициенты весьма приблизительны и установлены только для центральных районов европейской части России. Чаще измерения делают один раз летом, а другой раз зимой, когда результат справедлив и без учета коэффициента.

При измерениях сопротивления заземлителя провода присоединяют в ближайшей к нему точке заземляющих проводников и так одновременно проверяют состояние контакта между заземлителем и магистральным заземляющим проводником. Контакты в самой магистрали можно проверить отдельным измерением или осмотром и простукиванием мест сварки.



Е – проверяемый заземлитель, отключенный от всех источников питания;
Е1 и Е2 – вспомогательные заземляющие электроды, Х и У– измененные положения электрода Е2 при проверочных измерениях

Рисунок 4.6 – Схема измерения сопротивления заземлителя

Удобнее всего использовать специально предназначенный для таких проверок омметр типа М-372. Прибор позволяет обнаруживать напряжение на заземленном (или зануленном) корпусе от 60 (первое деление) до 380 В и

измерять сопротивления от 0,1 до 50 Ом. Норма – до 0,1 Ом. При большем значении надо тщательно проверить качество переходных контактов цепи, особенно в месте присоединения заземляющей проводки к корпусу данного аппарата.

Прибор М-372 применяют и для проверки в электроустановках напряжением до 1000 В целостности электрической цепи между открытыми металлическими частями (например, проводника для уравнивания потенциалов между ними) и между корпусами оборудования, установленного на заземленной раме и ею, а также между корпусами зануленного электроприемника и магистралью зануления. В последнем случае, если сопротивление окажется более 0,1 Ом, нужно измерить сопротивление петли фаза–нуль, чтобы проверить эффективность зануления.

Сопротивление заземляющих проводников измеряют при текущих и капитальных ремонтах заземленного оборудования, но не реже чем раз в год. Осмотр наружных частей заземляющей проводки и проверку надежности присоединения к ней оборудования выполняют одновременно с осмотром соответствующего оборудования, но не реже одного раза в 6 мес, а в сырых и особо сырых помещениях – одного раза в 3 мес.

Напряжения прикосновения и шага можно приближенно измерить в действующей установке. На расстоянии 0,8 м от корпуса электроприемника кладут на пол или на землю кусок влажного сукна размером 26 х 26 см, а на него металлическую пластинку толщиной 2 мм и площадью 25 х 25 $см^2$, т. е. равной площади подошв у обуви взрослого мужчины. Сверху кладут груз массой 50 кг. Между пластинкой и проводом сети, замкнутом на корпус, включают вольтметр с внутренним сопротивлением 1000 Ом, которое моделирует сопротивление тела человека.

Напряжение шага $U_ш$ можно измерить с помощью двух зондов в виде металлических стержней или металлических пластинок, между которыми включен вольтметр, если пропускать ток между исследуемым и вспомогательным заземлителями. Воткнув в землю один зонд посредине пути тока или положив здесь на пол пластинку, второй зонд располагают от первого на расстоянии 0,8; 1,6; 2,4 м и т. д. При этом определяют разность между соседними показаниями прибора ΔU и пересчитывают измеренные значения с учетом реально возможного тока $I_З$ через заземлитель в аварийных условиях по формуле

$$U_ш = \Delta U \cdot I_З / I$$

Измерять удельное сопротивление грунта ρ нужно на месте намечаемого сооружения электростанции или подстанции, а также для оценки результатов измерения сопротивления заземления, так как норма на это сопротивление зависит от ρ. Для измерений используют метод Веннера. На одинаковом расстоянии а один относительно другого в землю забивают на одной прямой четыре коротких стержня (длиной не более а/3). Между крайними стержнями пропускают переменный ток I и измеряют его, а между средними включают вольтметр с большим внутренним сопротивлением.

Можно применять измеритель заземлений. Токовые зажимы присоединяют к крайним стержням, потенциальные – к соответствующим средним. Затем регулируют прибор и измеряют сопротивление. Среднее удельное сопротивление земли на глубине а можно определить по формуле $\rho = 2\pi aU/I$. Если грунт можно считать однородным, то расстояние а между стержнями измеряют в метрах и берут равным расстоянию от поверхности земли до середины вертикальных элементов будущего или уже имеющегося заземлителя, для которого измеряют ρ.

Пример. Предполагается соорудить заземлитель для электроборудования кормоцеха, используя стержни длиной $l_в = 5$м, забиваемые в землю со дна траншеи глубиной $l = 0{,}8$ м. Определить, на каком расстоянии а должны располагаться стержни при измерении ρ по методу Веннера, на какую наибольшую глубину h можно воткнуть их в землю при измерениях, чтобы не получить результат с чрезмерной погрешностью, и подсчитать ρ, если измеренное $R = U/I$ оказалось равным 10 Ом.

$$a = 0{,}5l_в + t = 0{,}5 \cdot 5 + 0{,}8 = 3{,}3 \text{ м};$$
$$h \le a/3 = 1{,}1 \text{ м};$$
$$\rho = 2\pi aR = 6{,}28 \cdot 3{,}3 \cdot 10 = 207 \text{ Ом·м}.$$

4.2 Зануление

4.2.1 Принцип защитного действия зануления

Занулением называют преднамеренное соединение доступных случайному прикосновению нетоковедущих металлических частей электроустановок (корпусов электродвигателей и т. п.) с заземленной нейтралью трехфазного генератора или трансформатора, с заземленным выводом источника однофазного тока или с заземленной (средней) точкой источника в сети постоянного тока.

Эти заземленные точки называют нулевыми, а проводники, которые от них отходят – нулевыми проводниками. Нулевые рабочие проводники, используемые для питания электроприемников, обозначают на схемах буквой N. Их изоляция должна быть окрашена в голубой цвет. На неизолированный провод наносят метки краской или цветной липкой лентой. Нулевые защитные проводники, используемые для зануления, на схемах обозначают буквами PE, их изоляцию окрашивают в зелено-желтый цвет. Часто применяют нулевой рабочий проводник и в качестве защитного. Тогда на схемах его обозначают буквами PEN, а его изоляция окрашена в зеленый и желтый цвета с голубыми метками по концам, наносимыми при монтаже. Фазные проводники на схемах рекомендуется обозначать L_1, L_2 и L_3, а их изоляция может быть любого цвета, кроме зеленого, желтого и голубого.

При повреждении изоляции замыкание фазного проводника на зануленные части электроустановок превращается в однофазное к. з., в результате чего происходит автоматическое отключение поврежденного электроприем-

ника защитным аппаратом, а до момента отключения напряжение на зануленной части снижается благодаря связи с заземленной нейтралью. В этом и состоит защитное действие зануления.

Заземление нейтральной точки источника хотя и важно для электробезопасности, но все же является не защитным, а рабочим заземлением, т. е. необходимым для обеспечения определенных условий работы электроустановки в нормальном и аварийных режимах. Например, в электроустановках напряжением 380/220 В заземление нейтрали обеспечивает невозможность длительного повышения напряжения фазного провода относительно земли выше 250 В при замыкании на землю другого фазного провода.

По сравнению с защитным заземлением, применяемым в установках напряжением до 1000 В лишь при изолированной нейтрали, зануление имеет преимущества как экономические (проще и дешевле заземляющие устройства, используемые в системе зануления), так и качественные: защитное заземление не только в сети с изолированной нейтралью, но и в сети напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью обычно не могло бы обеспечить достаточно быстрого полного снятия напряжения с поврежденных элементов электроустановки. Оно только снижает напряжение на частях, попавших под напряжение при повреждении изоляции. Дело в том, что сопротивление двух последовательно включенных заземляющих устройств (нулевой точки источника и защитного заземления поврежденного элемента электроустановки) часто было бы слишком велико для возникновения однофазного тока к. з., достаточного для срабатывания защитного аппарата. Например, даже при сравнительно небольшом сопротивлении обоих заземлений – по 4 Ом и, если пренебречь сопротивлением фазного провода от источника питания до места повреждения изоляции, сила тока $I_З = U_ф/(R_0 + R_З) = 220/(4 + 4) = 27{,}5$ А (пренебрегли и активным сопротивлением земли между зонами растекания тока с заземлителей, равным 0,05 Ом/км, и внешним индуктивным сопротивлением току однофазного замыкания в петле фаза–земля). Отсюда видно, что в этом случае предохранитель с номинальной силой тока плавкой вставки 35 А и выше не сработал бы. На заземленном оборудовании длительно оставалось бы напряжение, равное половине фазного (110 В). Если же сопротивление заземления нейтрали было бы, например, равно 2 Ом, а сопротивление защитного заземления 8 Ом, то на заземленных частях оборудования при пробое изоляции было бы напряжение $U_З = U_ф R_з/(R_0 + R_З) = 220 \cdot 8/(2 + 8) = 176$ В.

Однако и зануление не лишено недостатков. При обрыве нулевого провода все оборудование за точкой обрыва оказалось бы лишенным защиты. При пробое изоляции в одном из электроприемников не только на его корпусе, но и на всех других, соединенных с нулевым проводом за точкой обрыва, могло бы оказаться напряжение, равное фазному из-за связи через общий кусок нулевого провода. Чтобы не допускать таких случаев, нужно прокладывать нулевые защитные проводники столь же тщательно, как фазные, не допускать установку предохранителей с плавкими вставками или однополюсных выключателей в нулевом проводе на участках, где он используется как

защитный, регулярно контролировать в процессе эксплуатации целостность защитных проводников по методике, описанной в параграфе 4.2.4. Кроме того, на случай, если нулевой провод все же оборвется, для уменьшения напряжения на зануленных частях при замыкании на них за точкой обрыва повторно заземляют на ВЛ нулевые провода ВЛ по концам как магистралей, так и ответвлений при их длине более 200 м, а также на вводах в здания. От электроприемников, расположенных вне здания и подлежащих занулению, до ближайшего повторного заземления или до заземления нейтрали должно быть не более 100 м.

Для кабельных линий повторные заземления не требуются. Металлические оболочки кабелей зануляют на их обоих концах. Заземлять корпуса электроприемников или другие открытые проводящие части наряду с занулением не нужно, кроме случая, когда применяют устройство для выравнивания электрических потенциалов между потенциально опасными частями и полом, например в коровнике. Но если поблизости от зануляемой части имеется естественный заземлитель, то надо присоединить к нему эту часть в дополнение к занулению. Он будет играть роль дополнительной или основной части заземляющего устройства для повторного заземления. Это важно не только в воздушных, но и в кабельных сетях даже при отсутствии обрыва нулевого защитного проводника, потому что это заземление снижает напряжение на зануленной части при повреждении изоляции до момента срабатывания защитного аппарата по сравнению с напряжением, которое получается, когда повторное заземление отсутствует.

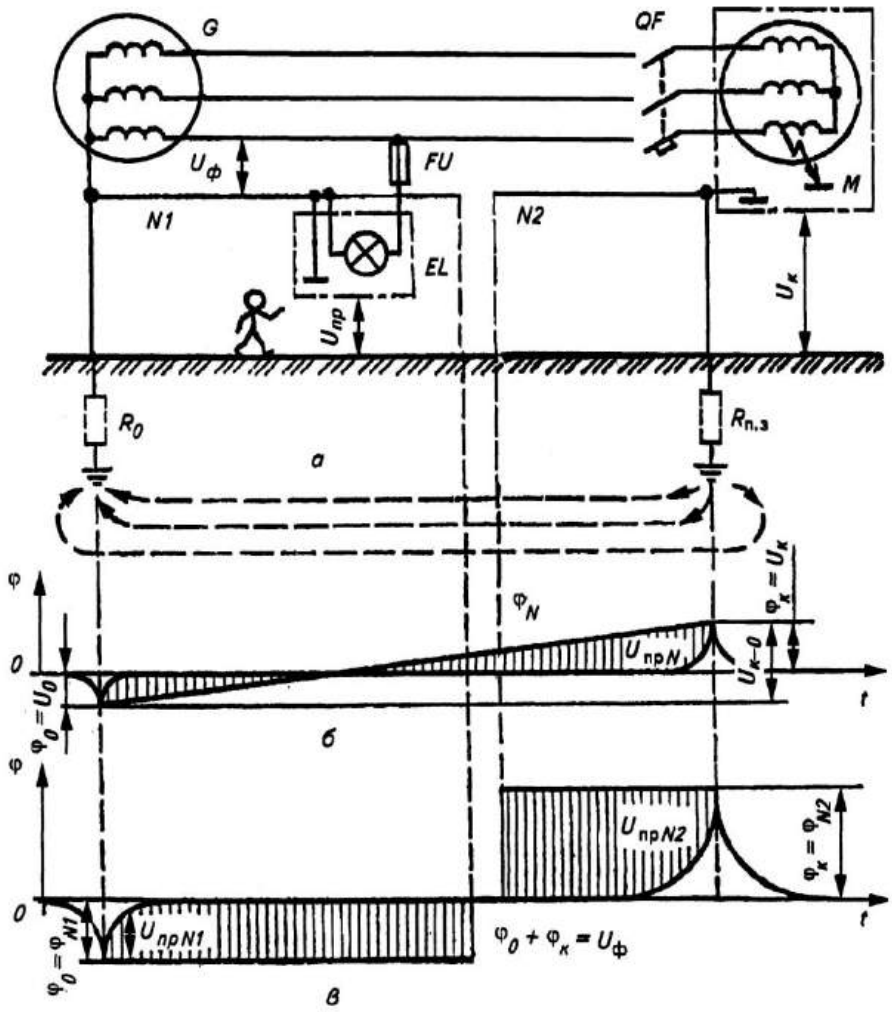
Проводимость нулевого проводника согласно ПУЭ при определенных условиях может быть вдвое меньше проводимости фазного. В этом, наихудшем случае при замыкании фазы на зануленную часть электроприемника на ней будет напряжение относительно земли (если нет повторного заземления), равное падению напряжения в нулевом проводнике от места замыкания до заземленной нейтральной точки источника, т. е. приблизительно 2/3 фазного напряжения (220 · 2/3 = 147 В). Если вблизи места присоединения поврежденного оборудования к нулевому проводу находится повторное заземление, то параллельный нулевому проводу путь тока через землю снизит результирующее сопротивление цепи тока от места замыкания до нулевой точки источника питания R_{k-0}, отчего уменьшится падение напряжения на этом пути U_{k-0}, т. е. напряжение между зануленным корпусом и нулевой точкой источника (рисунок 4.7).

$$U_{k-0} = I_k^{(1)} R_{k-0} = \frac{U_\phi \cdot R_{k-0}}{R_\phi + R_{k-0}},$$

где $I_k^{(1)}$ – ток однофазного к. з. в зануленном электроприемнике;

U_ϕ – напряжение фазы;

R_ϕ – сопротивление фазного провода.



а – схема; б – диаграмма потенциалов при целом нулевом проводе; в – диаграмма при обрыве нулевого провода;

G – генератор; QF – автомат; M – электродвигатель; FU – предохранитель; $U_ф$ – фазное напряжение; EL – светильник; $U_{пр}$ – напряжение прикосновения; U_K – напряжение на корпусе двигателя; N1 и N2 – участки нулевого провода до точки его разрыва и после; R_0 – сопротивление заземления нулевой точки генератора; $R_{п.з}$ – сопротивление повторного заземления; $φ_н$ – потенциал нулевого провода; $φ_к = U_K$ – потенциал корпуса электродвигателя; $U_{k–0}$ – напряжение на корпусе относительно нулевой точки генератора; $φ_0 = U_0$ – потенциал нулевой точки генератора; $U_{прN1}$ – напряжение на нулевом проводе до точки разрыва; $U_{прN2}$ – то же за точкой разрыва; $φ_0 = φ_{N1}$ – потенциал нулевой точки при обрыве нулевого провода

Рисунок 4.7 – Действие зануления

Тогда

$$R_{k-0} = \frac{R_N (R_0 + R_{п.з.})}{R_N + R_{п.з.} + R_0},$$

где R_N и $R_{п.з}$ – сопротивления нулевого провода и повторного заземления.

Пример. Произвести расчет зануления для электрической сети наво-

зоуборочного транспортера при $R_ф$ = 1,5 Ом, R_N = 3 Ом; $R_{п.з.}$ = 4 Ом.

Тогда R_{k-0} = 3(4 + 4)/(3 + 4 + 4) Ом ≅ 2,2 Ом;

U_{k-0} = 220 · 2,2/(1,5 + 2,2) В = 131 В.

Токи в одной из ветвей и по всей разветвленной цепи обратно пропорциональны соответствующим сопротивлениям:

$$I_{п.з-0} / I_k^{(1)} = R_{k-0} /(R_{п.з.} + R_0);$$

$$I_{п.з-0} = I_k^{(1)} R_{k-0} /(R_{п.з.} + R_0),$$

где $I_{п.з}$ – ток через «земляную» ветвь разветвления.

При целом нулевом проводе и наличии повторного заземления потенциал заземленной нейтральной точки, которую часто называют нулевой, не равен нулю. Если, как в приведенном примере, Rп.з. = R_0, то и напряжение на зануленном электроприемнике при однофазном к. з. в нем относительно точек нулевого потенциала U_k и напряжение нулевой точки U_0 будут равны между собой и могут быть определены по формуле

$$U_k = I_{п.з.-0} R_{п.з} = U_ф R_{k-0} R_{п.з} /(R_ф + R_{k-0}) /(R_{п.з.} + R_0)$$

Используя данные из примера вычисления R_{k-0} и U_{k-0}, получим

$$U_k = 120 \cdot 2{,}2 \cdot 4/(1{,}5 + 2{,}2)/(4 + 4) \text{ В} = 65{,}4 \text{ В}.$$

При двух или большем числе повторных заземлений на линии значения $U_{З-0}$ и U_k уменьшаются еще больше.

Повторное заземление при обрыве нулевого защитного проводника снижает напряжение на зануленных частях электрооборудования с поврежденной изоляцией, однако это напряжение может существовать длительно. Кроме того, столько же долго будет существовать напряжение на всем зануленном оборудовании до точки обрыва, так как от тока, протекающего по земле, падение напряжения будет возникать не только на сопротивлении повторного заземления $R_{п.з}$, но и на сопротивлении заземления нулевой точки источника питания R_0. Эта точка и связанная с нею часть нулевого проводника приобрели бы такое же напряжение относительно точки земли с нулевым потенциалом $U_0 = U_ф R_0/(R_0+R_{п.з})$.

Если $R_{п.з} = R_0$, то $U_0 = U_k$ = 220/2 В = 110 В. При целом нулевом проводе U_0 имеет много меньшее значение и существует кратковременно, до срабатывания защитного аппарата.

ПУЭ запрещают использовать в электроустановках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью, в частности в установках 380/220 В, защитное заземление без одновременного зануления, а также применять землю в качестве нулевого проводника, так как при этом в случае повреждения изоляции оборудования могут возникнуть те же условия, как и при обрыве нулевого проводника. Однако если заземляющие устройства нулевой точки и электроприемника надежно металлически соединены между собой, то присоединение подлежащих занулению частей к такому общему заземлителю рас-

сматривают как зануление.

4.2.2 Конструктивное выполнение зануления

Имеются три конструктивные системы выполнения зануления, показанные на рисунке 4.8. Система TN-S (рисунок 4.8а) – с раздельным присоединением к заземленной нейтральной точке источника питания Т рабочего нулевого провода N и защитного нулевого PE. В обозначении этой системы: Т – от слова «терра» – земля, S – от «separe» – раздельный.

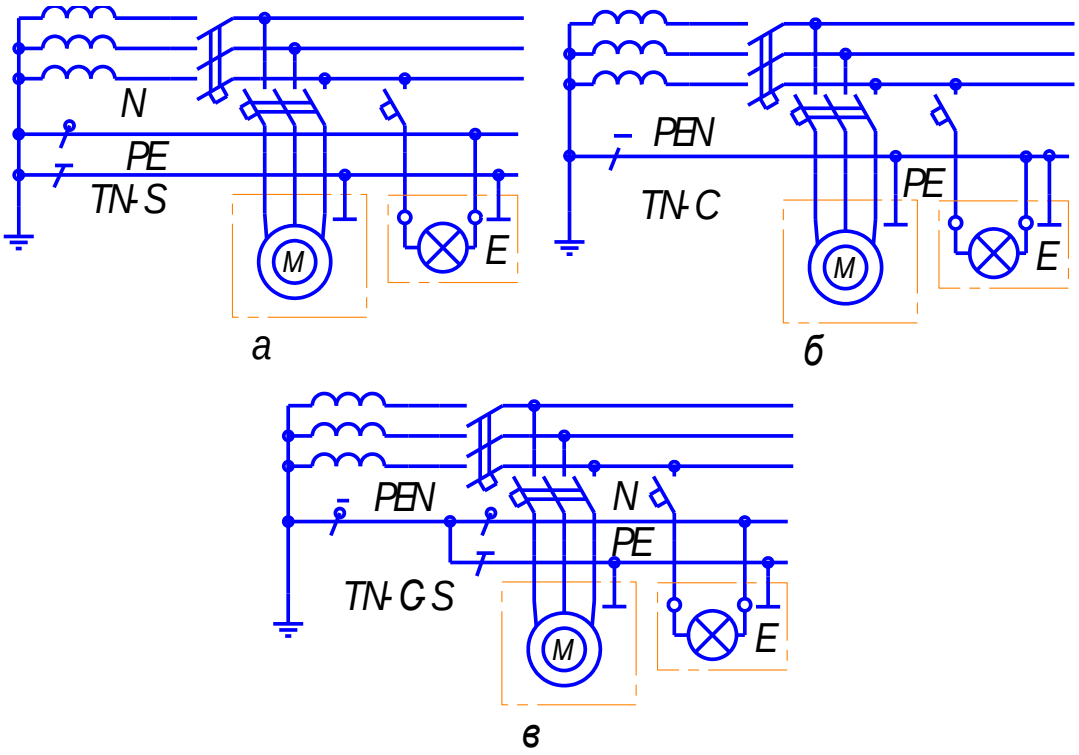
В системе TN-C (рисунок 4.8б) нулевой провод используют и как рабочий, и как защитный (С – от слова «combine» – объединенный). В этом случае его обозначают буквами PEN.

В системе TN-C-S (рисунок 4.8в) на протяжении одной части линии нулевой провод используют в комбинации, а на другой части – раздельно.

Первая из этих систем обеспечивает высококачественную защиту, но из-за потребности в пятом проводе на всем протяжении линии такая система дороже остальных. Как указывалось ранее, в большинстве случаев нулевой провод используют комбинированно, несмотря на следующий недостаток второй и третьей систем: при обрыве PEN проводника напряжение на зануленных частях появится и при исправной изоляции электроприемников.

Кроме принципов выполнения зануления, указанных в предыдущем параграфе, нужно соблюдать следующие требования.

Нулевой провод должен иметь не меньшую проводимость, чем у фазных проводов, в следующих случаях: на линиях со стальными проводами, при сечении 10 мм^2 также и со сталеалюминиевыми и биметаллическими проводами, а также на всех линиях, питающих животноводческие постройки. При этом снижается падение напряжения на нулевом проводе и, значит, напряжение на корпусе поврежденного оборудования с 2/3 до 1/2 фазного напряжения (без учета повторных заземлений). Кроме того, увеличивается надежность быстрого срабатывания предохранителя или автоматического выключателя при замыкании на зануленную часть, так как увеличивается ток однофазного к. з. Обычно применяют одинаковые нулевые и фазные провода на всех новых ВЛ напряжением 380/220 В. Диаметр стальных проводов минимум 4 мм. Стыки стальных труб, в которых проложены провода, при использовании их в качестве «естественного» нулевого проводника нужно дополнительно к резьбовому соединению на сурике сварить в двух точках с каждой стороны. Между трубами и корпусами электрооборудования, в которые вводят эти трубы, надо сделать металлическое соединение.



а...в – варианты

Рисунок 4.8 – Схемы конструктивного выполнения зануления

Металлоконструкции и другие сторонние проводящие части, если гарантированы их непрерывность и достаточная проводимость, можно использовать в качестве естественных нулевых защитных (PE) проводников, но не в качестве рабочего нулевого (N) или комбинированного (PEN). Нельзя использовать в качестве PE-проводника трубы водопровода или центрального отопления внутри зданий, а также газопровода или трубопровода со взрывоопасными жидкостями. Однако независимо от использования в качестве нулевых проводников все эти части зануляют для уравнивания потенциалов.

Таблица 4.9 – Наименьшее сечение, мм^2, медных и алюминиевых PE-проводников

Материал	Неизолированные	Изолированные	Нулевые жилы кабелей или проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами
Медь	4(10)*	1,5**	1,0
Алюминий	6(16)*	2,5	2,5

* Значения в скобках – внутри зданий.

** При прокладке в трубах медный PE-проводник может иметь сечение 1 мм^2, если у фазных проводов сечение также равно 1 мм^2; в цепях управления и сигнализации сечение 0,5 мм^2.

В качестве нулевых защитных применяют проводники из цветных ме-

таллов (таблица 4.9).

Проводимость нулевых рабочих и защитных проводников должна составлять не менее 50 % проводимости фазных. В зданиях это допускается, если сечение фазных проводников из меди превышает 16 мм^2, алюминиевых – 25 мм^2. При этом максимальный рабочий ток в проводе должен быть не более длительно допустимого для данного сечения с учетом способа проводки, и нулевой провод должен иметь защиту от сверхтоков, т. е. отключаться защитой от к. з. или перегрузок в нем вместе с фазными проводами. При использовании в качестве нулевых проводников алюминиевых оболочек трехжильных кабелей всегда обеспечивается 50 % проводимости фазного проводника. Проводимостью стальной брони или свинцовой оболочки пренебрегают. Присоединение к алюминиевой оболочке делают гибким медным проводом, который к оболочке и броне припаивают с помощью проволочных бандажей из 5...6 витков. Когда три провода проложены в водо- или газопроводной трубе, она обеспечивает не менее 50 % проводимости фазного провода и может служить в качестве защитного проводника, если удовлетворены требования к кратности тока однофазного к. з., указанные в параграфе 4.2.3.

Для зануления корпуса однофазного электроприемника нельзя использовать нулевой провод ответвления к данному приемнику, например светильнику, если проводка к нему выполнена открытыми незащищенными проводами, а нужно проложить отдельный (третий) защитный проводник до магистрального нулевого провода в ближайшей соединительной коробке. Иначе при случайном обрыве рабочего нулевого провода фазное напряжение попадает на корпус даже при исправной изоляции внутри него, например через нить накала лампы. Обрыв защитного проводника тоже возможен, но напряжение на корпусе при этом может оказаться только при совпадении с обрывом повреждения изоляции внутри корпуса. Если в однофазный электроприемник введен кабель, защищенный провод, то зануление можно выполнить путем присоединения корпуса электроприемника к рабочему нулевому проводнику.

Эти же условия распространяются на подводку нулевого защитного проводника к защитным контактам двухполюсных розеток, за исключением устанавливаемых в кухнях квартир, общежитий или в лечебных учреждениях. Там независимо от защищенности проводки к защитным контактам розеток должен прокладываться нулевой защитный проводник от группового (этажного или квартирного) щитка, в котором он должен присоединяться к нулевой шине под отдельный от нулевого рабочего провода зажим. К розетке защитный провод присоединяют не от самого щитка, а от соединительной коробки, куда подведен магистральный защитный проводник от щитка. Так же присоединяют нулевой защитный проводник к трехфазным розеткам во всех помещениях и при любой проводке.

Зануление корпусов переносных светильников (настольных ламп) должно выполняться посредством специальной (третьей) жилы гибкого провода, которая не должна служить одновременно рабочим проводником и должна присоединяться к защитному контакту штепсельной вилки. Посколь-

ку в наружной сети обычно применяют систему TN-C, то, значит, внутри зданий зануление, как правило, надо выполнять по системе TN-C-S. Светильники наружного освещения на железобетонных опорах, как и изоляторные крюки или траверсы со штырями, арматуру опоры зануляют, а на деревянных опорах – только в случае, если на этой опоре имеется заземление нулевого провода или изоляторных крюков для грозозащиты.

4.2.3 Расчет зануления

При проектировании зануления необходимо также соблюсти следующее условие: расчетный ток однофазного к. з. в конце данного участка должен обеспечивать быстродействие срабатывания защитных аппаратов. В таблице 4.10 приведено время автоматического отключения для предохранителей /21/.

Таблица 4.10 – Наименьшее допустимое время защитного автоматического отключения предохранителей для системы заземления типа TN

Значение номинального фазного напряжения, В	Время отключения, с	Время отключения в помещениях для содержания животных, с
127	0,8	0,35
220	0,4	0,2
380	0,2	0,05
более 380	0,1	–

Для автоматического выключателя необходимо, чтобы при напряжении 220 В он отключал ток короткого замыкания за время не более 0,4 с, а при напряжении 380 В – за время не более 0,2 с. В помещениях для содержания животных время отключения автоматического выключателя должно быть не менее 0,2 с при напряжении 220 В и 0,05 с при напряжении 380 В.

Как и для других токовых защит, время отключения может быть увеличено до 5 с в цепях, питающих распределительные, групповые и другие щиты и щитки /21/.

Ток к. з. для проверки защиты на быстродействие

$$I^{(1)}{}_K = \frac{\sqrt{3}\cdot U_H}{\sqrt{(2\cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2\cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}\cdot 10^3,$$

где $U_{.н}$ – номинальное напряжение сети В;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности элементов сети от источника питания до точки короткого замыкания, мОм;

$r_{0\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности элементов сети от источника питания до точки короткого замыкания, мОм.

При расчете токов к.з. в электроустановках напряжением до 1000 В следует учитывать не только индуктивные и активные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, но и активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи (на шинах, на вводах и выводах аппаратов, разъемные контакты аппаратов и даже контакт в месте к.з.).

Если разные участки линии выполнены проводами разных марок, то можно вычислить сопротивления для каждого участка отдельно и суммировать их арифметически. Если необходимое время быстродействия не обеспечено, то можно воспользоваться следующими способами.

1. Использовать вместо обычной защиты установочными автоматами или предохранителями с плавкой вставкой специальные защиты от однофазных к. з., например включить катушку токового реле в нулевой провод с воздействием его контактов на независимый расцепитель автомата (катушку отключения). Эта защита (рисунок 4.9) может оказаться более быстродейственой, чем максимальные токовые расцепители или предохранители, включенные в фазные провода, если рабочий ток в нулевом проводе существенно меньше, чем в фазах, что бывает при силовой, а иногда и при смешанной нагрузке. Кроме того, такую защиту можно применять без выдержки времени.

2. Применение быстродействующих защитных аппаратов, например УЗО (смотрите далее).

3. Применять трансформатор со схемой звезда–зигзаг с нулем, что снижает его сопротивление току однофазного к. з. более чем в 3 раза по сравнению с более распространенной схемой звезда-звезда.

4. Секционировать воздушную линию в точках, где в результате отбора от нее нагрузки сила тока снижается настолько, что можно установить предохранители или автоматические выключатели на опоре, например, применив распределительный ящик Я-3124-25РМ с номинальным током теплового расцепителя (или плавкой вставки), меньшим на 1...2 ступени по шкале номинальных токов, чем соответствующий ток у головной защиты. Тогда при к. з. в конце линии быстродействие секционирующего защитного аппарата может оказаться достаточным, а при к. з. в точке секционирования ток к. з. может возрасти из-за большей близости к ТП настолько, что и для головной защиты будет обеспечено необходимое время отключения.

5. Увеличить сечение проводов. Это дорогой путь, поэтому сечение увеличивают лишь на отдельных участках линии, начиная с маломощных концевых. При коммунально-бытовой нагрузке можно перейти к неполнофазным концевым участкам с проводами большего сечения: например, с 4 х А16 на 3 х А25 или на 2 х А35. Линия 3 х А25 при приблизительно той же стоимости имеет по сравнению с линией 4 х А16 на 30 % меньшую проводимость, а линия 2 х А35 – почти в 3 раза меньшую, но зато ток однофазного к. з. больше на 40 и 120 % соответственно (если заменить провода по всей линии). Можно увеличить сечение только нулевого провода на четырехпроводных участках выше сечения фазных проводов или сечение всех четырех.

Каждый из перечисленных способов применяется в своей области.

Первый не может быть использован в случае, когда проектировщик располагает таким комплектным оборудованием, где применены либо автоматы без независимого расцепителя, либо предохранители. Полезное секционирование невозможно при отсутствии отбора нагрузки от промежуточных точек линии. Если рассмотренные способы не обеспечивают эффективного действия зануления, то можно увеличить число линий, отходящих от потребительской ТП, отчего линии будут менее мощными и при этом может понизиться сила тока головного аппарата защиты. Но это дорогой способ.

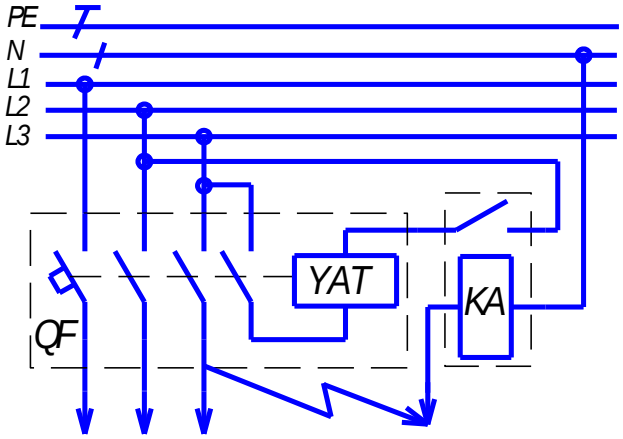


Рисунок 4.9 – Схема включения в линию установочного автомата (QF) и катушки реле РЭ-571т (КА) в нулевой провод с воздействием контактов этого реле на катушку независимого расцепителя (YAT) автомата для обеспечения эффективного действия зануления

Пример. Рассчитать эффективность зануления для четырехпроводной линии питающей стационарный кормораздатчик, длиной l = 200 м, выполненной кабелем с АВВГ сечением 3х35+1х16 и защищенной автоматом ВА88–33 с номинальным током теплового расцепителя $I_{.р}$ = 125 А. Трансформатор на ТП – 10/0,4 кВ мощностью $S_{н.т}$ = 100 кВ·А имеет схему соединения звезда–зигзаг с нулем. Линия подключена к шинопроводу ШРА73-250, длиной 0,7м. Для подключения счетчика электроэнергии имеется трансформатор тока класса точности 1, с коэффициентом трансформации 100/5. Ток короткого замыкания произошел в конце линии.

Решение. По справочнику определяем удельное активное и индуктивные сопротивления кабеля прямой и нулевой последовательности. Для АВВГ 3х35+1х16 $r_{1уд}$ = 1,1 мОм/м, $x_{1уд}$=0,068 мОм/м и $r_{0уд}$ = 2,97 мОм/м $x_{0уд}$ = 1,241 мОм/м.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов r_T и x_T, мОм, приведенные к ступени низшего напряжения сети, определятся по формуле

$$r_{T1} = \frac{P_K \cdot U_H^2}{S_T^2} \cdot 10^6 = \frac{1{,}97 \cdot 0{,}4^2}{100^2} \cdot 10^6 = 31{,}52 мОм;$$

$$x_{T1} = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_K}{S_T}\right)^2} \cdot \frac{U_H^2}{S_T} \cdot 10^4 = \sqrt{4{,}5^2 - \left(\frac{100 \cdot 1{,}97}{100}\right)^2} \cdot \frac{0{,}4^2}{100} \cdot 10^4 = 64{,}7 мОм,$$

где P_K – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА;

U_H – номинальное напряжение обмотки низшей ступени трансформатора, кВ;

U_K – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме звезда–зигзаг с нулем, при расчете токов однофазного к.з. определяются как /21/

$$r_{T0} = 0{,}4 \cdot 31{,}52 = 12{,}61 мОм;$$

$$x_{T0} = 0{,}1 \cdot 64{,}7 = 6{,}47 мОм.$$

Для шинопровода ШРА73–250 активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности принимают согласно /21/

$$r_{1Ш} = 0{,}7 \cdot 0{,}21 = 0{,}147 мОм;$$

$$x_{1Ш} = 0{,}7 \cdot 0{,}21 = 0{,}147 мОм.$$

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности фазы шинопровода можно принять /21/

$$r_{0Ш} = r_{1Ш} + 3 \cdot r_{НП} = 0{,}147 + 3 \cdot 0{,}12 = 0{,}507 мОм;$$

$$x_{0Ш} = (7{,}5...9{,}4) \cdot x_{1Ш} = 8 \cdot 0{,}147 = 1{,}176 мОм,$$

где $r_{нп}$ – активное сопротивление нулевого провода, мОм /21/.

Активное сопротивление шинопровода с учетом двух болтовых контактных соединений на фазу /21/

$$r_{1Ш} = 2 \cdot 0{,}009 + 0{,}147 = 0{,}165 мОм.$$

Активное и индуктивное сопротивления трансформаторов тока класса точности 1 с коэффициентом трансформации *100/5* r_{TA}*=1,7* мОм; x_{TA}*=2,7* мОм. /21/.

Активное и индуктивное сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей номинальным током до *140 А* $r_{КВ}$*=1,3* мОм; $x_{КВ}$*=0,7* мОм.

Сопротивления кабеля до точки короткого замыкания определится как

$$r = r_{уд} \cdot l;$$

$$x = x_{уд} \cdot l,$$

Произведем вычисления

$$r_1 = 1{,}1 \cdot 200 = 220 мОм;$$

$$x_{1ВЛ} = 0{,}068 \cdot 200 = 13{,}6 мОм;$$

$$r_0 = 2{,}97 \cdot 200 = 594 мОм;$$

$$x_{0ВЛ} = 1{,}241 \cdot 200 = 248{,}2 мОм.$$

Суммарные сопротивления относительно точки к.з.

$$r_{1\Sigma} = 31{,}52 + 0{,}165 + 1{,}7 + 1{,}3 + 220 = 254{,}7 мОм;$$
$$r_{0\Sigma} = 12{,}61 + 0{,}507 + 1{,}7 + 1{,}3 + 594 = 610{,}1 мОм;$$
$$x_{1\Sigma} = 64{,}7 + 0{,}147 + 2{,}7 + 0{,}7 + 13{,}6 = 81{,}8 мОм;$$
$$x_{0\Sigma} = 6{,}47 + 1{,}176 + 2{,}7 + 0{,}7 + 248{,}2 = 259{,}2 мОм.$$

Ток к.з.

$$I^{(1)}_{K.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 254{,}7 + 610{,}1)^2 + (2 \cdot 81{,}8 + 259{,}2)^2}} \cdot 10^3 = 579 A..$$

Для $I_{.р}$ = 125 А и при $I_к^{(1)}$=579 А время срабатывания автоматического выключателя составляет 10 с /21/. Зануление неэффективно.

Рассмотрим возможность секционирования линии.

Для обеспечения быстродействия защиты установим секционирующий автоматический выключатель, к примеру, посередине линии, и определим ток к.з. у данного аппарата, т.е. расстояние до точки к.з. составит 100 м.

Тогда сопротивления кабеля на участке от точки к.з. до головного автоматического выключателя будут равны

$$r_1 = 1{,}1 \cdot 100 = 110 мОм;$$
$$x_{1ВЛ} = 0{,}068 \cdot 100 = 6{,}8 мОм;$$
$$r_0 = 2{,}97 \cdot 100 = 297 мОм;$$
$$x_{0ВЛ} = 1{,}241 \cdot 100 = 124{,}1 мОм.$$

Суммарные сопротивления относительно точки к.з.

$$r_{1\Sigma} = 31{,}52 + 0{,}165 + 1{,}7 + 1{,}3 + 110 = 144{,}7 мОм;$$
$$r_{0\Sigma} = 12{,}61 + 0{,}507 + 1{,}7 + 1{,}3 + 297 = 313{,}1 мОм;$$
$$x_{1\Sigma} = 64{,}7 + 0{,}147 + 2{,}7 + 0{,}7 + 6{,}8 = 75 мОм;$$
$$x_{0\Sigma} = 6{,}47 + 1{,}176 + 2{,}7 + 0{,}7 + 124{,}1 = 135{,}1 мОм.$$

Ток к.з.

$$I^{(1)}_{K.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 144{,}7 + 313{,}1)^2 + (2 \cdot 75 + 135{,}1)^2}} \cdot 10^3 = 1036{,}3 A.$$

Для $I_{.р}$ = 125 А и при $I_к^{(1)}$=1036,3 А время срабатывания автоматического выключателя составляет 0,037 с /21/. Зануление эффективно.

При уменьшении рабочего тока на участке действия секционирующего аппарата, возможно применение автоматического выключателя с меньшим током расцепителя, например 63 А. Тогда для $I_{.р}$ = 63 А и при $I_к^{(1)}$=579 А время срабатывания автоматического выключателя составит 0,03 с /21/. Значит работа головного и секционирующего аппаратов обеспечена.

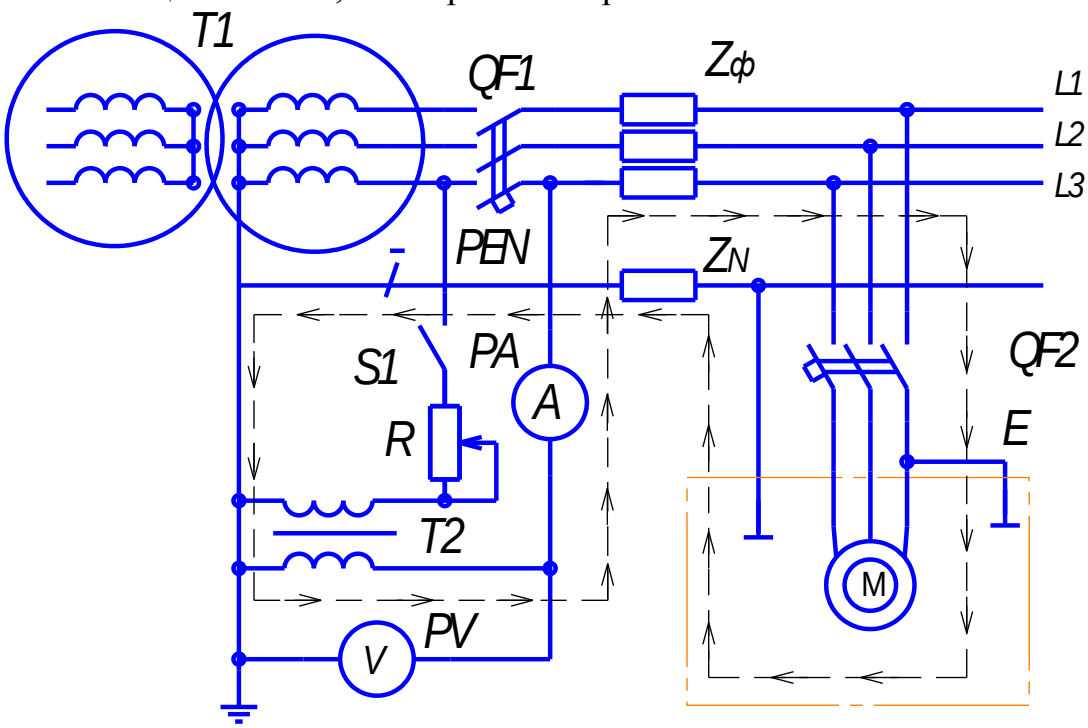
В приведенном примере не учтено (для упрощения и увеличения надежности результата проверки) некоторое снижение сопротивления фазного и нулевого проводников за счет повторных заземлений. Это не вносит большой погрешности в результат, так как через повторные заземления и заземлитель нулевой точки даже при малых их сопротивлениях течет далеко не такая значительная часть общего тока, как это может показаться. Надо учесть, что индуктивное сопротивление петли фаза–земля много больше, чем

петли фаза–нулевой провод, потому что расстояние от фазного провода до земли в несколько раз больше. В основном ток течет по нулевому проводу.

Для уменьшения индуктивного сопротивления петли из фазного и нулевого проводников последний нужно прокладывать в непосредственной близости от фазных проводов. Следует считать нерациональным, если вместо такой прокладки нулевого провода используют внутренний заземляющий контур, проложенный вдалеке от фазных проводов по стенам помещения (в отличие от сетей с изолированной нейтралью, где он обычно применяется).

4.2.4 Экспериментальная проверка зануления

Проверять эффективность действия зануления экспериментально нужно перед приемкой в эксплуатацию новой или реконструированной установки и после капитальных ремонтов зануленных электроприемников или участков питающей их сети, но не реже чем раз в 6 лет.



T1 – питающий трансформатор потребительской подстанции; T2 – вспомогательный понижающий трансформатор; QF1 и QF2 – установочные автоматы; $Z_ф$ и Z_N – измеряемые сопротивления фазного и нулевого проводов; E – проводник для временного замыкания фазы на корпус (QF2 во время измерения должен быть включен)

Рисунок 4.10 – Схема измерения Z проводов в петле фаза—нуль методом амперметра и вольтметра

Имеется переносной прибор – измеритель тока к. з. цифровой типа Щ41160, предназначенный для измерения тока однофазного к. з. цепи фаза – нуль в сетях напряжением 380/220 В с заземленной нейтральной точкой источника питания и углом сдвига фаз 5..55° при значениях токов к. з. 10...1000

А, что охватывает все сельские сети. Зная ток однофазного короткого замыкания, находят его кратность по отношению к номинальному току плавких вставок, защищающих эту линию, или расцепителей автомата, чтобы убедиться, что она не меньше требующегося коэффициента чувствительности (3, 4, 6).

Если прибор Щ41160 отсутствует, то измеряют полное сопротивление проводов в петле фаза–нуль. Проще всего это сделать методом амперметра и вольтметра, как показано на рисунке 4.10. Здесь автомат перед зануленным электроприемником (QF2) должен быть включен на время измерений. По показаниям приборов вычисляют сопротивление петли фаза–нуль:

$$Z_п = Z_ф + Z_н = U / I$$

и ток однофазного к. з.

$$I_k^{(1)} = U_ф /(Z_п + Z_т^{(1)} / 3),$$

где $U_ф$ – фазное напряжение сети, В;

$Z_т^{(1)} / 3$ – сопротивление фазы трансформатора току однофазного к. з. Значение $Z_т^{(1)} / 3$ измеряют отдельно либо берут из справочных таблиц.

Значение $Z_т^{(1)} / 3$ может быть определено приближенно при вторичном номинальном напряжении трансформатора 400/230 В по формуле

$$Z_т^{(1)} / 3 = K_{с.т} / S_{н.т},$$

где $K_{с.т}$ – коэффициент, зависящий от схемы соединения обмоток трансформатора;

$S_{н.т}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$K_{с.т.}$ = 26 при схеме трансформатора звезда–звезда с нулем и номинальном первичном напряжении $U_{н1}$ = 6...35 кВ, $K_{с.т}$ = 7,5 при схеме звезда–зигзаг с нулем и $U_{н1}$ = 6...10кВ или $K_{с.т}$ = 10 при той же схеме и $U_{н1}$ = 35 кВ. В случае вторичного номинального напряжения 230/130 В все значения $K_{с.т}$ втрое меньше.

Проверка делается по точке к. з. у наиболее удаленного электроприемника на одной линии, а индивидуальные нулевые защитные проводники остальных электроприемников контролируют омметром М-372.

4.3 Защитное отключение и другие меры защиты от поражения током при повреждениях электроустановок

4.3.1 Защитное отключение

Кроме наиболее распространенных технических способов защиты от поражения током при повреждениях изоляции, а именно заземления и зануления, применяют и другие. Защитным отключением называют автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети напряжением до 1000 В, обеспечивающее безопасное для человека сочетание тока через его тело и

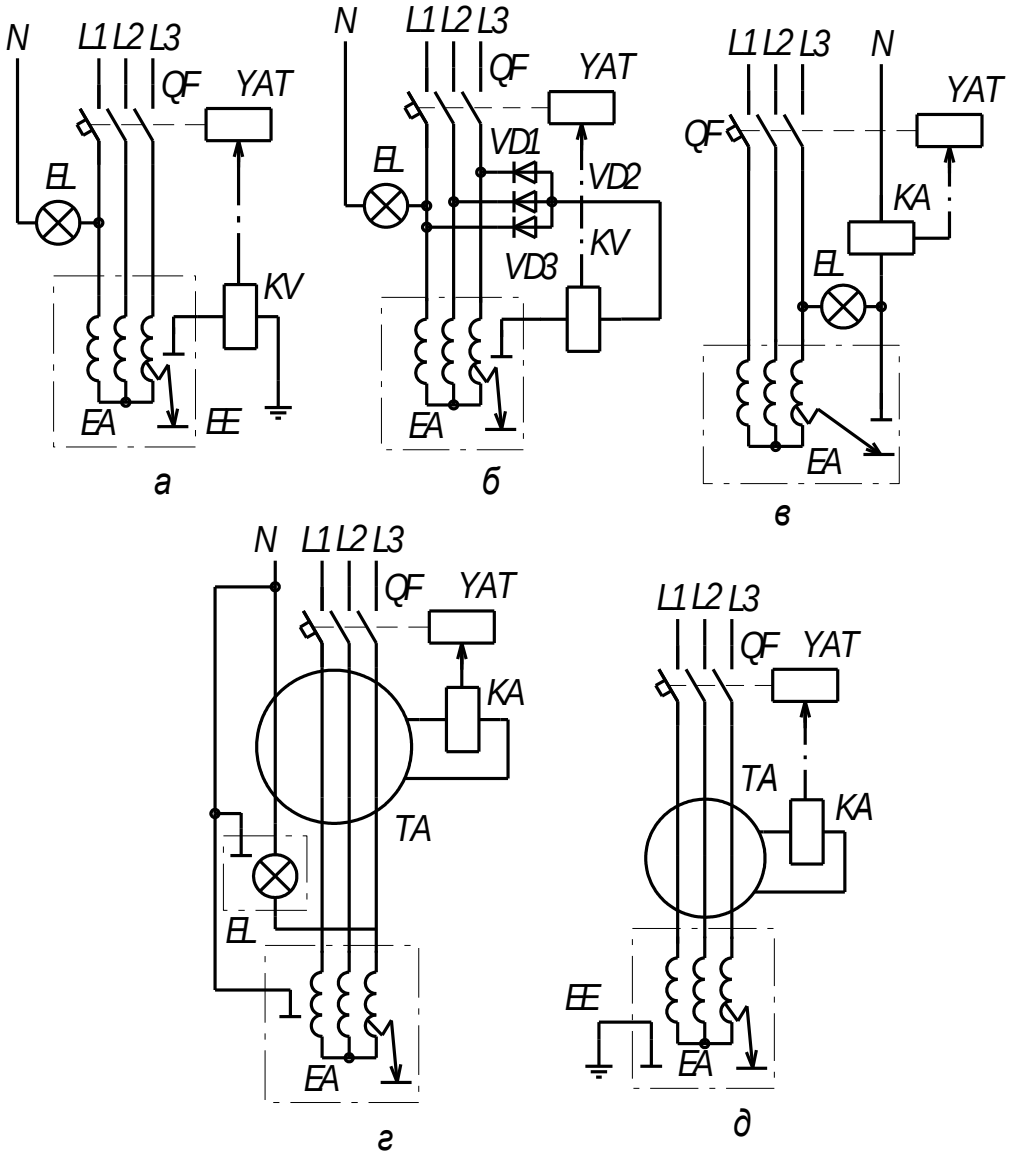
времени его протекания при замыканиях на корпус или снижении сопротивления изоляции ниже определенного значения. Чаще всего время срабатывания современных устройств защитного отключения (УЗО) — десятки миллисекунд. За это время можно считать практически безопасным действие на человека даже напряжения 220 В. Занулением же обеспечивают отключение поврежденного участка сети или электроприемника лишь за значительно больший промежуток времени, измеряемый единицами или десятками секунд. УЗО может защищать человека от смертельного поражения электричеством в электроустановках с напряжением 380/220 В при использовании его в качестве самостоятельного защитного мероприятия, но его часто применяют и в дополнение, например, к занулению.

В сельском хозяйстве используются следующие три принципа действия УЗО (рисунок 4.11): по напряжению, появляющемуся на корпусе электроприемника; по току нулевой последовательности в установках с занулением; по току утечки через изоляцию на корпус, землю. Последние называют также «управляемыми дифференциальным током» и обозначают УЗО-Д. Такие УЗО применяют в сетях как с заземленной, так и с изолированной нейтралью. Они обладают высокой чувствительностью и могут защищать людей не только при повреждении изоляции, но и в случаях прикосновения к токоведущим частям, на которые приходится не менее половины всех поражений электрическим током.

Одним из первых стали применять принцип УЗО по напряжению на корпусе. На рисунке 4.11а приведена упрощенная схема Харьковского института охраны труда. Между корпусом электроприемника EA и вспомогательным заземлителем EE включена катушка реле напряжения KV, которое срабатывает при появлении напряжения на корпусе выше уставки реле (например, 12 В) и действует на катушку отключения YAT автоматического выключателя QF (или на катушку магнитного пускателя). Вспомогательный заземлитель EE проще и дешевле, чем защитное или повторное заземление в системе зануления, так как может иметь гораздо большее сопротивление (например, 120 Ом, а не 4...30 Ом). Однако для избирательного отключения именно поврежденного электроприемника, если их несколько, вспомогательные заземлители у каждого должны быть отдельными и, кроме того, должны отстоять от фундамента защищаемого электроприемника на расстоянии 10...20 м, иначе на заземлителе EE и на корпусе EA, с которого ток может стекать не только через KV, но и через фундамент, будет приблизительно одинаковый потенциал и реле KV не сработает.

Можно обходиться без вспомогательного заземлителя (см. рисунок 4.11б – схема Московского института охраны труда), однако такое УЗО менее чувствительно и надежно, чем выполненное по схеме 4.11а.

УЗО по току нулевой последовательности применяют совместно с занулением (см. рисунок 5.11в), и оно имеет ток срабатывания порядка сотен миллиампер и выше. Ток срабатывания должен быть больше рабочего тока в нулевом проводе, когда имеются однофазные электроприемники.



а и б – по напряжению на корпусе; в – по току нулевой последовательности; г и д – по току утечки через изоляцию («управляемые дифференциальным током»); VD1...VD3 – диоды; E1 – светильник; остальные обозначения расшифрованы в тексте

Рисунок 4.11 – Принципы действия устройств защитного отключения

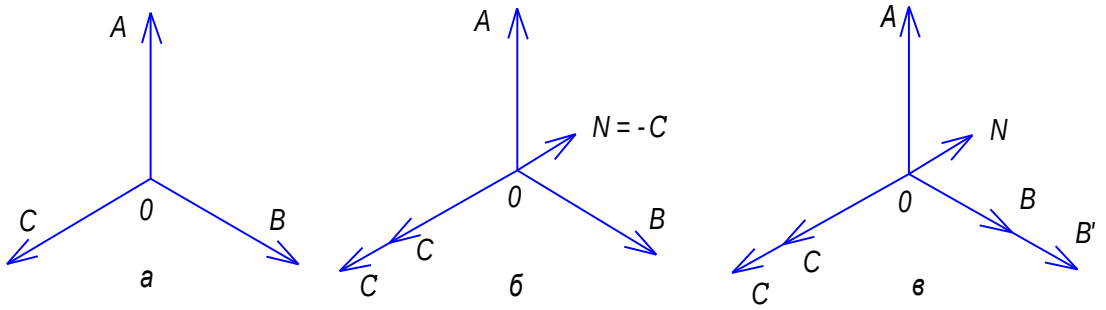
В схемах защитного отключения по току утечки (см. рисунок 4.11г и д) преобразователем (датчиком) тока утечки служит трансформатор тока нулевой последовательности ТА с кольцевым магнитопроводом, сквозь который при четырехпроводной сети со смешанной трехфазно-однофазной нагрузкой должны проходить все четыре рабочих провода. Если УЗО сочетается с занулением, то нулевой защитный проводник (5-й) необходимо присоединять к рабочему нулевому проводу до ТА по ходу энергии, как показано на рисунке 4.11г. При отсутствии утечки магнитные потоки от токов всех рабочих проводов взаимно компенсируются.

На рисунке 4.12а...в показаны векторы токов и магнитных потоков в трансформаторе ТА этой схемы: при симметричной трехфазной нагрузке и

отсутствии тока утечки (см. рисунок 4.12а), несимметричной трехфазно-однофазной нагрузке и отсутствии тока утечки (см. рисунок 4.12б), трехфазно-однофазной нагрузке и появлении тока утечки B´ («дифференциального тока») в фазе B (см. рисунок 4.12в).

Появление соответствующего магнитного потока, который в отличие от случаев, показанных на рисунках 4.12а и б, не уравновешивается потоками от других фаз, приводит к появлению тока во вторичной обмотке и срабатыванию УЗО.

Выпускают срабатывающие непосредственно от тока утечки чисто электромеханические УЗО-Д, например, типа Астро-УЗО для четырехпроводных линий напряжением 380/220 В и для двухпроводных на номинальные токи: 16, 20, 25, 63 А при токах срабатывания 10, 30 и 100 мА, а также двухполюсные типа УЗО 20-ВАД1 с полупроводниковым усилителем сигнала на отключение, с номинальными токами 10, 16, 25 и 32 А при токах срабатывания 10 или 32 мА. Обычно в состав УЗО входят коммутационный аппарат и реле утечки, но бывают и отдельные реле, например РУД-05, которые при срабатывании воздействуют на отдельно поставляемый автоматический выключатель или магнитный пускатель.



а – при симметричной нагрузке; б – при наличии силовой и однофазной нагрузок; в – при утечке тока в фазе B

Рисунок 4.12 – Векторы токов и магнитных потоков в трансформаторе тока нулевой последовательности ТА, показанного на рисунке 4.11г

УЗО имеют кнопку «Контроль», которую нажимают при каждом включении электроприемника в работу, но не реже одного раза в 3 мес. Исправное УЗО срабатывает.

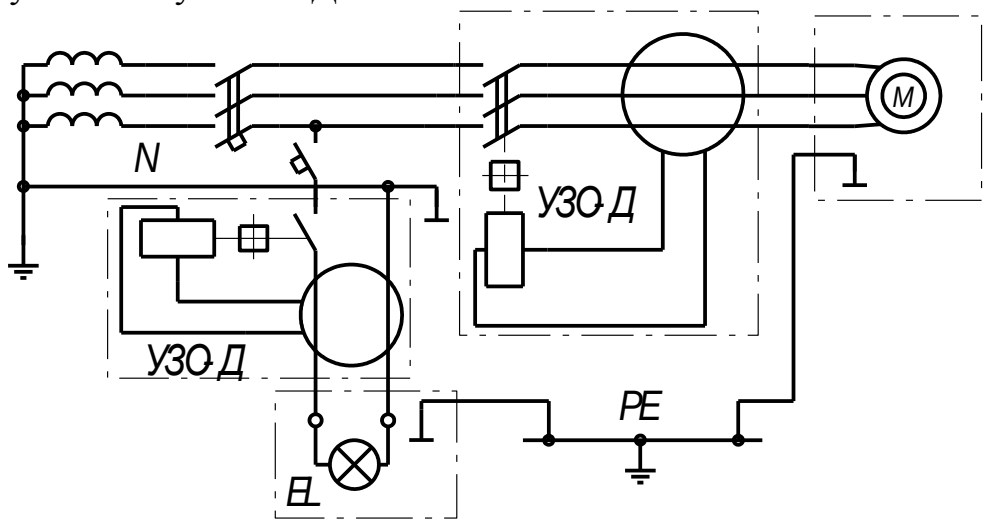
4.3.2 Случаи обязательного использования УЗО-Д

Для электроустановок сельскохозяйственных и животноводческих помещений (ГОСТ Р 50571.14–96) и зданий из металла или с металлическим каркасом (ГОСТ Р 50669–94) следует применять систему электроснабжения Т-Т, но допускается и система зануления TN-S. Система Т-Т используется в электроустановках напряжением 110 кВ и выше, где заземлена нейтральная точка источника питания – трансформатора 110кВ и применено защитное за-

земление доступных прикосновению нетоковедущих металлических частей электрооборудования, что символизирует вторая буква Т.

В установках напряжением 380/220 В систему Т-Т можно использовать только при наличии УЗО-Д (рисунок 4.13). Иначе при питании от той же потребительской подстанции, например напряжением 10/0,4 кВ, по другим линиям зануленных электроприемников возникнут условия, при которых замыкание на заземленные конструкции в данном здании приведет к появлению напряжения на нулевой точке трансформатора и всех зануленных частях электроприемников, питающихся по другим линиям из-за как бы заранее оборванного нулевого защитного провода. В связи с этим в ПУЭ запрещают применять защитное заземление вместо зануления в сетях напряжением 380/220 В. В данном случае под второй буквой Т надо понимать не защитное заземление, а вспомогательное, необходимое для работы УЗО-Д и для грозозащитного заземления изоляторных крюков на вводе в здание (от проникновения грозовых перенапряжений с воздушной линии во внутреннюю электропроводку).

Наружную электропроводку зданий из металла или с металлическим каркасом следует присоединять к питающей сети в рядом расположенных обычных зданиях (во вводно-распределительных устройствах, распределительных щитах и в групповых этажных или квартирных щитках) или на опоре воздушной линии, т. е. допускается присоединение не к отдельной линии, идущей от самой ТП-10/0,4кВ, а к линии, питающей других потребителей обычно по системе TN-C. Поэтому лучше было бы обозначать рассматриваемую систему TN- C-Дт вместо Т-Т.



M – электродвигатель, PE – нулевой защитный проводник, EL – светильник

Рисунок 4.13 – Схема защиты от поражения током в сельскохозяйственных и животноводческих постройках и зданиях из металла

Требования безопасности в металлических зданиях обеспечиваются путем применения УЗО-Д, повторного заземления рабочего нулевого провода и заземления металлического корпуса или каркаса здания. Здесь УЗО-Д

устанавливают как в месте присоединения наружной электропроводки к питающей линии с уставкой 30 мА, так и внутри здания с уставкой 10 мА. В сельскохозяйственных постройках уставки соответственно 100 или даже 300 и 30 мА. В месте присоединения наружной электропроводки к питающей линии должно быть устроено повторное заземление, кроме кабельных линий. Обычно повторное заземление совмещают с грозозащитным для заземления изоляторных крюков. Это заземление следует располагать на линии до места расположения УЗО-Д, чтобы защитить его полупроводниковый усилитель от повреждения при грозовых перенапряжениях.

Металлический корпус или каркас имеют многие постройки сельскохозяйственного назначения (зерноочистительно-сушильный комплекс, эллинг из волнистой стали для хранения продукции, автозаправочная станция). Их заземление надо выполнять, сооружая вблизи здания заземляющее устройство с сопротивлением $R \leq 12/(1{,}4 \cdot I_y)$, где 12 – допустимое напряжение прикосновения, В; 1,4 – коэффициент запаса; I_y – ток срабатывания УЗО-Д, А. При $I_y = 30$ мА = 0,03 А получается $R \leq 286$ Ом. Для грозозащитного заземления на последней опоре линии перед зданием $R \leq 30$ Ом. При объединении этих двух заземляющих устройств в одно последнее требование перекрывает первое.

Применение УЗО-Д обязательно и во вновь сооружаемых или капитально ремонтируемых жилых зданиях, но совместно с системой защитных проводников для уравнивания потенциалов.

В сетях с изолированной нейтралью применяют устройства автоматического контроля изоляции. При действии на отключение без выдержки времени они служат аналогами УЗО.

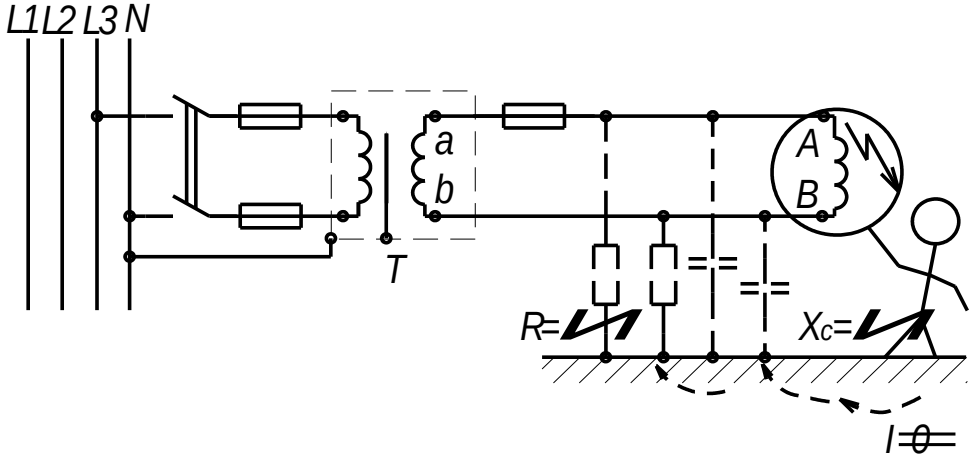
4.3.3 Применение двойной изоляции, защитного разделения сетей и малого (сверхнизкого) напряжения

Двойной изоляцией электроприемника называют совокупность рабочей и дополнительной (защитной) изоляции, при которой доступные прикосновению части электроприемника не приобретают опасного потенциала при повреждении рабочей или защитной изоляции. Например, рукоятка у ручного переносного светильника сделана из диэлектрического материала с таким расчетом, чтобы обеспечивалась надежная изоляция при повреждении рабочей изоляции проводов внутри нее. С двойной изоляцией изготовляют также электродрели. Поэтому, хотя корпус у них может быть металлическим, заземлять или занулять их не требуется. Вместо двойной изоляции возможно применение усиленной однослойной изоляции, которая обеспечивает ту же степень защиты, что и двойная.

Защитное разделение сетей состоит в том, что цепи питания электроприемника отделяют от фазных проводов и цепей заземления или зануления с помощью преобразователей частоты с раздельными обмотками или разделительных трансформаторов. Требования к ним по ГОСТ 30030–93 и по ПУЭ

различны, но первичное номинальное напряжение до 1000 В указано в обоих документах. Вторичное номинальное напряжение в ПУЭ до 380 В, в ГОСТе до 1000 В. Различают также безопасные разделительные трансформаторы – с вторичным напряжением до 50 В между выводами или любым выводом и землей, в том числе при холостом ходе.

Разделительные трансформаторы служат для питания переносных электрифицированных инструментов, газонокосилок, электробритв, а безопасные разделительные трансформаторы – для ручных переносных светильников, звонков, игрушек. Все эти трансформаторы должны иметь повышенную надежность конструкции и изоляции. Их изоляцию проверяют более высоким испытательным напряжением, чем у обычных трансформаторов с тем же номинальным напряжением, а именно 4 кВ переменного тока между обмотками и между ними и корпусом вместо 1,8 кВ. По ПУЭ от разделительного трансформатора может питаться только один электроприемник по сравнительно коротким проводам с надежной изоляцией, например шлангового типа; мощности электроприемника и самого трансформатора должны быть такими, чтобы с первичной стороны трансформатор был защищен предохранителями с номинальным током плавкой вставки не более 15 А или автоматом с таким же током уставки; запрещается заземлять или занулять вторичную обмотку трансформатора или питаемый от него электроприемник, но корпус первого должен быть занулен или заземлен либо иметь двойную изоляцию.



Т – разделительный трансформатор; X_c – емкостное сопротивление изоляции провода относительно земли

Рисунок 4.14 – Схема, поясняющая принцип защитного разделения сетей

Защитное действие разделительного трансформатора основано на том, что он отделяет электроприемник и от фазных проводов первичной цепи, и от зануляющих или заземляющих проводников в ней (рисунок 4.14). Благодаря этому, а также хорошей изоляции как у вторичной обмотки, так и проводов, связывающих ее с электроприемником, при пробое изоляции в электроприемнике на корпус (например, вблизи зажима А) он будет иметь напряжение, равное вторичному напряжению трансформатора относительно

зажима В, но не относительно земли. Ток утечки через активное сопротивление изоляции или емкость жилы В относительно земли будут ничтожно малы, так как проводка сравнительно короткая и неразветвленная. При протекании через человека этот ток будет не только безопасным, но даже незаметным для него. Также безопасно случайное прикосновение к токоведущим частям в любой точке вторичной цепи разделительного трансформатора, если изоляция другого полюса (фазы) исправна. Однако изоляцию электроприемника, соединительных проводов и трансформатора нужно регулярно контролировать.

Два электроприемника нельзя подключать к разделительным трансформаторам, потому что во втором электроприемнике, корпус которого может касаться заземленных конструкций, также возможно замыкание на корпус. Если это будет замыкание точки обмотки, близкой к зажиму В, то прикосновение человека к первому электроприемнику с замыканием на корпус зажима А вызовет ток через человека и землю от провода А до провода В. Однако по ГОСТ Р 50571.3–94 допускается питание от разделяющего трансформатора нескольких электроприемников при условии, что их корпуса будут соединены между собой для уравнивания потенциалов изолированным проводником, не заземленным и не связанным с защитными проводниками в первичной цепи трансформатора; штепсельные розетки во вторичной цепи будут иметь защитный контакт, присоединенный к системе уравнивания потенциалов, а гибкие кабели, питающие электроприемники, будут содержать защитный проводник, применяемый в качестве проводника уравнивания потенциалов; будет быстродействующая защита, отключающая питание при двойном замыкании разных фаз на два разных корпуса электроприемников во вторичной цепи.

Разделительный трехфазный трансформатор может иметь мощность до 40 кВ·А, однофазный – до 25 кВ·А, безопасный разделительный – соответственно 16 и 10 кВ·А. При вторичном напряжении холостого хода до 33 В переменного тока или до $33\sqrt{2}$ В пульсирующего токоведущие части могут быть доступны прикосновению, а иначе должны иметь оболочки без отверстий. Сопротивление изоляции обмоток должно быть не менее 2 МОм у основной, 7 МОм у усиленной и 5 МОм между первичной и вторичной обмоткой. Сопротивления проверяют мегомметром на 500 В через 1 мин после приложения напряжения. Испытательное напряжение зависит от номинального напряжения обмоток. Например, если последнее составляет до 50 В, то испытательное, прилагаемое между первичной и вторичной обмоткой, – 500 В, при номинальном 1000 В испытательное – 5500 В.

Малое (сверхнизкое) напряжение – это номинальное напряжение переменного тока между фазами или относительно земли. Оно составляет не более 42 В (эффективное значение) по ПУЭ или до 50 В по ГОСТ 30331.3–95.2. При постоянном или выпрямленном токе к сверхнизким относят напряжение до 120 В (с амплитудой пульсаций до 140 В). Применение малого напряжения – самостоятельная мера защиты от косвенного прикосно-

вения, например, вместо зануления в помещениях без повышенной опасности (по ГОСТу) и в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных (по ПУЭ).

По ГОСТу защита от косвенного прикосновения не требуется при номинальном напряжении переменного тока до 25 В и постоянного – до 60 В.

Если питание малым (сверхнизким) напряжением осуществляется через понижающий, но неразделительный трансформатор, то один из зажимов его вторичной обмотки должен быть заземлен (занулен) на случай пробоя изоляции между обмотками.

По ГОСТу различают следующие системы сверхнизкого напряжения:

БСНН – безопасное сверхнизкое напряжение – система защиты из сверхнизкого напряжения в цепи и дополнительного защитного разделения со всеми другими цепями, включая заземление;

ЗСНН – сверхнизкое напряжение в заземленной токоведущей цепи и дополнительно защитное разделение с другими цепями, кроме цепей заземления.

Токоведущие части цепей БСНН и ЗСНН должны быть электрически отделены друг от друга и прочих цепей, а их изолированные проводники должны быть отделены от таких же проводников других цепей путем помещения в неметаллическую оболочку или разделены заземленным металлическим экраном. Штепсельные вилки цепей не должны входить в розетки других напряжений, а розетки не должны быть рассчитаны на включение в них вилок для цепей других напряжений и не иметь защитного (заземляющего, зануляющего) контакта.

На систему вилок и розеток для сверхнизкого напряжения существует ГОСТ Р МЭК 905.3.3—96. При горизонтальном расположении гнезд для вилки и нулевого кодирующего паза на розетке в положении цифры 12 на часовом циферблате, кодирующие пазы на розетке, соответствующие различным номинальным напряжениям, находятся в положениях: «1 ч» – для напряжения переменного тока 6 В, «2 ч» – для 12, «10 ч» – для 24, «11 ч» – для 48 В, т. е. смещены от нулевого паза на 30, 60, 300 и 330° по направлению движения часовой стрелки, а у вилки расположение кодирующих буртиков смещается против хода часовой стрелки. У розеток и вилок для постоянного тока тех же напряжений углы смещения кодирующих пазов и буртиков составляют 120, 150, 210 и 240°.

4.3.4 Классификация электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения током

Согласно ГОСТ Р МЭК 335-1–94 установлены пять классов электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током: 0, 01, I, II, III.

К классу 0 относят изделия с номинальным напряжением более 42 В и рабочей изоляцией, не имеющие элемента для заземления (зануления) в виде

винта, болта. В качестве элемента заземления (зануления) нельзя использовать винты, болты или шпильки, предназначенные для закрепления изделия или его части. До 1998 г. бытовые электроприборы изготовляли по классу 0, так как они предназначались для работы в помещениях без повышенной опасности, где не требовалось зануление в установках напряжением менее 380 В.

Класс 01 —изделия с рабочей изоляцией и элементом для заземления, но у провода нет защитной жилы. По классу 01 выполняют светильники, питаемые по защищенным проводам.

Класс I — изделия с рабочей изоляцией, элементом для заземления и проводом питания с заземляющей жилой, штепсельной вилкой с защитным контактом.

Класс II — изделия, имеющие у всех доступных прикосновению частей двойную или усиленную изоляцию относительно частей, нормально находящихся под напряжением. У таких изделий отсутствует элемент для заземления.

Класс III — изделия, не имеющие ни внутренних, ни внешних цепей с напряжением выше 42 В. При питании от внешнего источника изделия относят к классу III только в случаях, если они присоединяются непосредственно к источнику питания с номинальным напряжением не выше 42 В, у которого на холостом ходу оно не превышает 50 В, а при питании от сети – если оно осуществляется через разделительный трансформатор или преобразователь частоты с двойной изоляцией между обмотками.

Согласно нормам при измерении мегаомметром на 500 В после капитального ремонта сопротивление изоляции ручного электрифицированного инструмента, переносных светильников, трансформаторов, кабелей, удлинителей, преобразователей частоты должно быть не менее 2 МОм для рабочей, 5 МОм для дополнительной (защитной) и 7 МОм для усиленной изоляции. При эксплуатации сопротивления должны быть не менее 0,5 МОм для рабочей изоляции и 2 МОм для изделий класса II.

Существует и другая классификация электротехнических изделий (ГОСТ 14254—90) по степени защиты от попадания внутрь электрооборудования твердых частиц (первая цифра в обозначении IP–XY, где X и Y – цифры): 0 – отсутствие защиты; 1 – защита от проникновения предметов диаметром более 50 мм и случайного прикосновения большим участком тела к токоведущим или движущимся частям; 2 – защита от попадания предметов диаметром более 12 мм (от прикосновения пальцем); 3 – от проникновения инструмента или твердых частиц диаметром более 2,5 мм; 4 – то же, но более 1 мм; 5 и 6 – полная защита людей и разная степень защиты от пыли (от ее опасных отложений – 5, полная – 6).

4.3.5 Уравнивание и выравнивание потенциалов, изолирующие площадки

Уравнивание потенциалов (система защитных проводников) заключается в металлическом соединении между собой открытых частей электрооборудования, а также сторонних проводящих частей для устранения напряжения между ними при появлении потенциала на одной из них, например при повреждении изоляции.

Выравнивание потенциалов – это снижение разности потенциалов между заземленными (зануленными) открытыми металлическими частями или заземлителем и поверхностью земли, пола путем укладки вблизи них неизолированных проводников, соединенных с заземленными (зануленными) частями. Это уменьшает напряжение прикосновения при повреждении изоляции. Можно рассматривать выравнивание потенциалов как частный случай уравнивания, если считать проводящий пол сторонней проводящей частью.

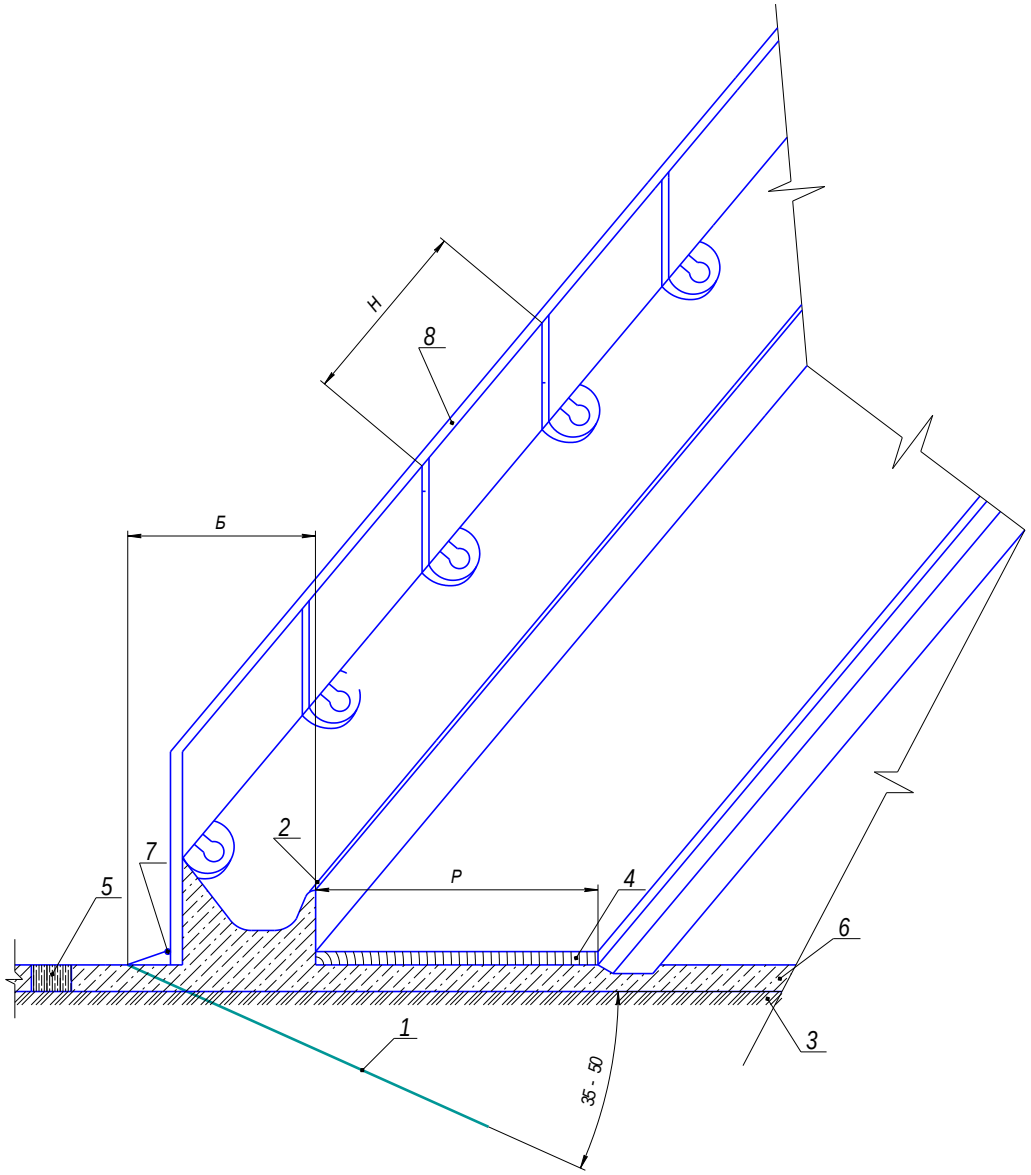
В каждом здании с системой уравнивания потенциалов должны быть соединены следующие проводники: магистральный нулевой защитный проводник; магистральный заземляющий проводник или основной заземляющий зажим; стальные трубы коммуникаций в здании или между зданиями и металлические части строительных конструкций; система центрального отопления; система вентиляции и кондиционирования. Эти проводящие части должны быть также соединены между собой на вводе в здание. Для эффективного действия системы уравнивания потенциалов сопротивление проводников между частями, охватываемыми системой уравнивания потенциалов, должно удовлетворять условию $R \leq 50/I_{ср}$, где $I_{ср}$ – ток, обеспечивающий срабатывание защитного устройства за время, не превышающее 5 с.

По ГОСТ Р 50571.10–96 сечение проводников, уравнивающих потенциалы между двумя открытыми металлическими частями, должно быть не менее чем у защитных нулевых проводников, подключенных к ним, а у проводников, уравнивающих потенциалы сторонних проводящих частей и главного заземляющего зажима (например, повторного заземления на вводе), должно быть не менее половины сечения максимального защитного проводника в данном здании и не менее 6 мм^2 по меди.

Если электрооборудование охватывается системой уравнивания потенциалов, то при его номинальном напряжении до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного или выпрямленного можно не иметь защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям с помощью оболочек или изоляции при условии нормальной эксплуатации только в сухих помещениях и при малой вероятности контакта человека с частями, находящимися под напряжением. При напряжении до 6 В переменного тока и до 15 В постоянного можно не иметь защиты от прямого прикосновения также и при других условиях.

В жилых домах нужно устраивать металлическое соединение водопроводных труб с металлическим корпусом ванн, так как иначе человек,

находясь в ванне и касаясь водопроводного крана, может попасть под напряжение, если на водопроводных или отходящих от ванны канализационных трубах появится электрический потенциал. Это может случиться не только при повреждении изоляции, но и при недопустимом использовании канализационных или водопроводных труб внутри дома в качестве естественного за-землителя или нулевого проводника.



1 – электрод, 2 – кормушка, грунт, 4 – деревянный настил, 5 – участок с высоким удельным электрическим сопротивлением, 6 – бетонный пол, 7 – место сварки, 8 – металлоконструкции

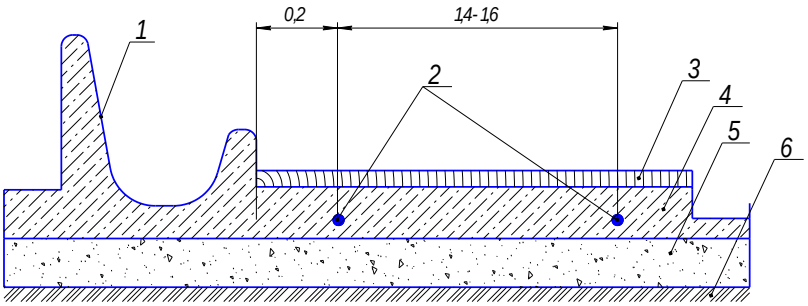
Б – смещение верхних концов электродов относительно внешней стороны стойла, Р и Н – длина и ширина стойла

Рисунок 4.15 – Схема закладки выравнивающих электродов

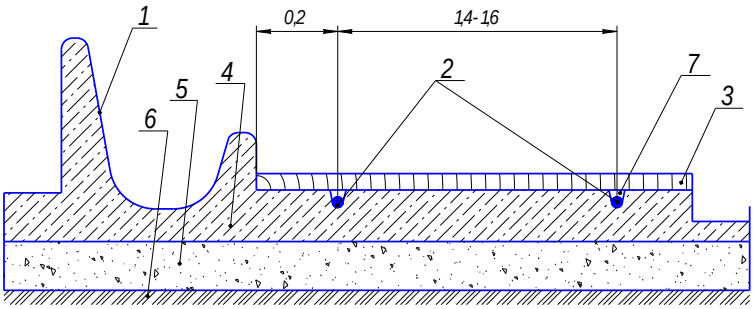
Изолирующие площадки используют, когда другие технические способы обеспечения безопасности трудно применить. Изоляцию площадки от земли рассчитывают так, чтобы ток через человека, стоящего на площадке, при со-

прикосновении с частями под напряжением был безопасным. Изоляция рабочего места – способ защиты от поражения током и при прямом прикосновении к токоведущим частям. Если пол такой площадки металлический, то его можно присоединить к частям, которых касается человек (уровнять потенциалы), и допускать больший ток утечки через изоляцию площадки, потому что ток через человека на площадке не будет протекать. С такой площадки невозможно прикоснуться к частям, связанным с землей, а для безопасного входа на площадку надо иметь изолирующее звено лестницы. При ремонте воздушных сетей с телескопических вышек человек соединяет изолированную от земли металлическую площадку, на которой стоит, с проводом линии специальным проводником с помощью изолирующей штанги. После этого он может касаться провода голыми руками.

Вариант закладки выравнивающих проводников во вновь строящихся помещениях



Вариант закладки выравнивающих проводников в действующих помещениях



1 – кормушка, 2- выравнивающие проводники, 3 – деревянный настил, 4 – бетонная подготовка пола, 5 – песчаная или иная подготовка пола, 6 - утрамбованный грунт, 7 - штроба

Рисунок 4.16 – Варианты закладки выравнивающих проводников

Выравнивание электрических потенциалов на МТФ. Для защиты животных от поражения электрическим током в помещениях ферм КРС следует

применять УВЭП, содержащие металлические стержни (элементы), электрически соединенные с технологическим оборудованием и строительными метало конструкциями доступными для прикосновения животных обслуживающего персонала, и установленные в токопроводящем полу по всей длине стойл, отделенных в горизонтальном направлении от зон нулевого потенциала участком с высоким удельным сопротивлением /11/.

Стержни УВЭП следует погружать в землю под стойла вдоль их внешней стороны с разряжением в каждом ряду от периферии к центру (рисунок 4.15). Длина каждого стержня должна быть не менее 0,5 длины стойла. Погружают их в землю под углом 35 – 50 градусов к поверхности пола стойла. Смещение верхних концов стержней от внешней стороны стойла не более 0,5 длин стойла. Расстояние между соседними стержнями увеличивают от периферии к центру по арифметической прогрессии $a_i = a_1 + (i-1)d$, разность, d которая равна ширине Н стойла, а удвоенной ширине Н стойла. Диаметр стержней не менее 10 мм.

Для действующих ферм допускается вместо стержней использовать прутки, выполненные из катанки диаметром не менее 6 мм, прокладывая их непосредственно под деревянным настилом стойла. При этом длина каждого прутка должна равняться длине стойла (рисунок 4.16).

Токопроводящий пол с находящимися в нем элементами УВЭП должен быть отделен от зоны нулевого потенциала участков с более высоким удельным электрическим сопротивлением. Таким участком может служить гидроизоляция фундамента здания, асфальтовая отмостка вокруг здания или бетонная, пропитанная непосредственно у стен здания отходами нефтепродуктов из расчета 2 – 3 кг на каждые 10 м длины отмостки.

Допускается применение УВЭП, выполненных из катанки диаметром не менее 6 мм, прокладываемых в полу стойла под ногами животных. При этом могут использоваться как одноэлементные, так и двух элементные УВЭП.

Протяженный элемент, одноэлементного УВЭП следует прокладывать либо под передними либо под задними ногами животных, но обязательно со стороны зоны нулевого потенциала. Токопроводящий пол с находящимися в нем элементами УВЭП в случаи применения одноэлементных УВЭП должны быть отделены от зоны нулевого потенциала, участком с боле высоким удельным электрическим сопротивлением. В двух элементных УВЭП один из протяженных элементов прокладывают под передней, а второй под задними ногами животного.

Выравнивающие элементы должны иметь надежный электрический контакт с доступными для прикосновения животных металлоконструкциями. С этой целью они должны быть приварены непосредственно к указанным металлоконструкциям либо с помощью соединительных проводников диаметром не менее 6 мм.

При сборно-разборочном оборудовании животноводческого помещения допускаются болтовые соединения элементов УВЭП к металлоконструкциям указанного оборудования. Сопротивление контакта не должно превышать

одного 0,1 Ом.

Сварку выравнивающих элементов выполняют в нахлестку по ГОСТ 52.64-80, при этом длина шва должна быть не менее четырех диаметров свариваемых элементов.

Сварные швы элементов УВЭП и соединительные проводники должны быть окрашены или иметь иное антикоррозионное покрытие в соответствии с требованиями ПУЭ и ПТЭ.

Элементы УВЭП должны быть изготовлены из оцинкованной стали. Допускается на стадии эксплуатации ферм старого типа использовать для изготовления УВЭП не оцинкованную сталь, но при этом необходимо не реже одного раза в квартал проверять исправность УВЭП и результаты проверки оформлять актом. В случаи выхода элементов УВЭП из строя в следствии коррозии или по иной причине они должны быть немедленно заменены новыми. В проектных решениях предусматривать для элементов УВЭП не оцинкованную сталь недопустимо.

Защиту животных путем выравнивания электрических потенциалов необходимо предусматривать:

- в помещениях привязного содержания животных независимо от применяемого технологического оборудования, строительных материалов и конструкций;

- в помещениях для коров при содержании их в индивидуальных денниках независимо от материалов строительных конструкций денников;

- в помещениях беспривязного содержания животных только в местах, находящихся в близи (до двух метров) стационарного электрифицированного оборудования, а также зануленных металлических конструкций оборудования, трубопроводов автопоилок, ограждений и т.п. к которым возможно прикосновение животных во время кормления, поения, доения или отдыха;

- при содержании животных на открытых площадях и манежах, УВЭП следует выполнять только в тех случаях, когда на площадях и манежах имеется зануленное оборудование или стационарное электрифицированное оборудование, например автопоилки с электрообогревном, при этом УВЭП должны выполняться в виде кольцевых заземлений, закладываемых на глубину 0,44R, где R – радиус кольцевого заземлителя выбираемый в пределах 1,5 – 2,0 м.

Вместо УВЭП предпочтительно использовать естественное выравнивание электрических потенциалов технологическими и строительными металлоконструкциями (например, вертикальными металлическими стойками ограждения стойл и боксов, арматурой железобетонных блоков фундаментов и т.п.).

Однако при этом на стадии проектирования должны быть выполнены расчеты распределения электрических потенциалов, подтверждающие достаточность естественного выравнивания электрических потенциалов.

Допускается вместо УВЭП и естественного выравнивания электрических потенциалов применять изолирующие вставки (отрезки труб, прокладки, звенья и т.п.). При этом на стадии проектирования должен быть проанализиро-

ваны и исключены все возможные пути электрических соединений доступных для прикосновения животных металлоконструкций, находящихся (для прикосновения животных) за изолирующими вставками, с зануленными металлоконструкциями (т.е. с металлоконструкциями, находящимися до изолирующих вставок).

При строительстве животноводческого помещения должен быть составлен акт на скрытые работы за подписью производителя работ, подтверждающий тот факт, что в земле, бетонном полу и других строительных конструкциях, а также в закрытых каналах и т.п. отсутствуют электрические соединения. Без такого акта эксплуатировать животноводческие помещения запрещается. Исключение представляет тот случай, когда испытаниями подтверждены защитные свойства изолирующих вставок, о чем должен быть составлен акт за подписью лица, проводившего испытания. И акт визуального осмотра все доступных для прикосновения животных металлоконструкций, подтверждающий тот факт, что в процессе эксплуатации исключена возможность пробоя на эти металлоконструкции электрической изоляции силовой или осветительной проводки, а также исключена возможность заколачивания изолирующей вставки, например при движении рельсового транспорта и т.п.

4.3.6 Защита от опасности перехода на провода с напряжением 380/220 В более высокого напряжения

Иногда на провода переходит напряжение от сетей с более высоким номинальным напряжением, например при падении на провода линий 380/220 В проводов линии более высокого напряжения или при пробое изоляции между обмотками трансформаторов. Для уменьшения опасности таких случаев применяют заземление вторичных обмоток измерительных и силовых трансформаторов в нейтрали. Замыкание фазы сети напряжением 6...35кВ с заземленной сетью более низкого напряжения превращается в однофазное замыкание на землю. Поврежденный участок сети высокого напряжения должен быть отключен в кратчайший срок, определяемый временем, необходимым для поиска места повреждения. До этого заземление снижает напряжение вторичной цепи относительно земли. Например, при сопротивлении заземлителя 4 Ом на ТП 10/0,38 кВ и силе тока замыкания на землю в сети напряжением 10 кВ, равным 10 А, напряжение на нулевом проводе при пробое изоляции будет около $4 \cdot 10 = 40$ В.

В сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью на случай перехода на провода этой сети более высокого напряжения включают между заземленным корпусом трансформатора и любым из выводов обмотки пониженного напряжения пробивной предохранитель. Внутри фарфоровой пробки этого предохранителя между ее резьбой и пяткой зажата среди двух металлических дисков тонкая слюдяная пластинка с отверстиями. При появлении напряжения выше нормального происходит пробой воздуха в отверстиях пластинки и сеть оказывается заземленной.

На потребительских подстанциях напряжением 6...35/0,4кВ опасный

потенциал на нулевом проводе может появиться и при пробое изоляции разъединителей или предохранителей на раму, заземленную через заземляющее устройство, к которому присоединена и нулевая точка обмотки 380/220 В, а также при срабатывании грозозащитных искровых промежутков или разрядников. Для защиты от заноса высоких потенциалов по нулевому проводу в коровник, мастерскую наиболее эффективная мера – выравнивание потенциалов, но возможно и включение на вводе УЗО по напряжению на нулевом проводе, действующего на четырехполюсный контактор.

Контрольные вопросы

1 В чем заключается принцип действия защитного заземления?

2 Что понимается под напряжением прикосновения и напряжением шага?

3 Принцип расчета искусственных заземлителей в однородном и двухслойном грунте.

4 Как измеряется сопротивление заземлителя?

5 В чем заключается принцип защитного действия зануления?

6 Принцип расчета зануления.

7 Что такое защитное отключение?

8 Когда необходимо использовать устройства защитного отключения?

9 В чем заключается принцип защитного разделения сетей?

10 Как классифицируются электротехнические изделия по способу защиты человека от поражения током.

11 Поясните принцип уравнивания и выравнивания потенциалов.

5 ОБЩИЕ ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

5.1 Общие положения

На каждом предприятии, в организации должен быть назначен ответственный за электрохозяйство (главный энергетик, инженер–электрик), который отвечает за его общее состояние и за соблюдение Правил эксплуатации электроустановок потребителей и Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок. Ответственность за несчастный случай несут лица из числа обслуживающего электроустановку и административно–технического персонала, т.е. как непосредственно нарушившие правила, так и те, кто не обеспечил выполнения технических и организационных мероприятий, исключающих возможность несчастных случаев.

При эксплуатации электроустановок проводят их оперативное обслуживание и другие работы (профилактические испытания, ремонт). Оперативное обслуживание заключается в выполнении операций включения и отключения линий, генераторов и трансформаторов; постоянном наблюдении за режимом работы и состоянием всего электрооборудования; периодическом осмотре того оборудования, которое не находится вблизи постоянного рабочего места дежурного оперативного персонала; подготовке рабочего места для ремонтных бригад, их допуске к работе, надзоре за соблюдением ими правил безопасности и восстановлении схемы работы электроустановки; выполнении по мере надобности небольших внеплановых работ по уходу за электроустановкой. Оперативно–ремонтным персоналом называют ремонтный персонал, которому после специального обучения разрешают выполнять переключения в установках, не имеющих постоянного дежурства оперативного персонала, при подготовке рабочего места для ремонта.

Все другие работы, кроме оперативной, выполняют тремя путями: по наряду–допуску (далее – наряд); устному распоряжению вышестоящего электротехнического персонала; без распоряжений – в порядке текущей эксплуатации.

В отношении мер безопасности работы в электроустановках подразделяют на три категории; со снятием напряжения; без снятия напряжения — на токоведущих частях или вблизи них; без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением. К работам, выполняемым со снятием напряжения, относят работы в электроустановке, в которой со всех токоведущих частей снято рабочее напряжение и закрыт вход в помещение, где расположены установки, оставшиеся под напряжением.

Предприятие (хозяйство) имеющее большой объем электрооборудования, хорошие материальные и трудовые ресурсы, а также при значительном удалении хозяйства от районного центра создает самостоятельную электротехническую службу (ЭТС). ЭТС должна включать в себя ряд подразде-

лений, оснащенных соответствующими ремонтно–обслуживающими средствами для выполнения тех или иных эксплуатационных мероприятий. Так, группа технического обслуживания должна проводить плановые технические обслуживания электрооборудования в местах его установки.

Руководство бригадой обычно выполняет опытный электромонтер, имеющий более высокий разряд, а при равных разрядах — более высокую форму допуска по электробезопасности. В обязанности бригадира кроме основной работы входят контроль за работой электромонтеров, расходованием материалов и запасных частей; обеспечение персонала бригады необходимым инструментом и приспособлениями; контроль за состоянием защитных средств и соблюдением персоналом правил электробезопасности, а также ведение технической документации.

Группа технического ремонта должна выполнять работы по текущему ремонту электрооборудования, как в местах его установки, так и в стационарных условиях. Помимо этого, электротехнический персонал группы занимается вопросами наладки и консервации электрооборудования, комплектованием и отправкой изделий в капитальный ремонт на специализированные предприятия.

Группа монтажа производит демонтаж оборудования, подлежащего текущему ремонту в стационарных условиях, доставка его на пункт технического ремонта (ПТР) и к месту эксплуатации после ремонта, установка на рабочее место, наладка, проверка работоспособности.

5.2 Требования к персоналу и его подготовка

Эксплуатацию электроустановок должен осуществлять подготовленный электротехнический персонал.

Электротехнический персонал предприятий подразделяется на:

– административно–технический;

– оперативный <*>;

– ремонтный;

– оперативно–ремонтный <*>.

———————————————————————————

<*> В дальнейшем оперативный и оперативно–ремонтный персонал, если не требуется разделения, именуется оперативным персоналом.

В соответствии с принятой у потребителя организацией энергослужбы электротехнический персонал может непосредственно входить в состав энергослужбы или состоять в штате производственных подразделений потребителя (структурной единицы). В последнем случае энергослужба осуществляет техническое руководство электротехническим персоналом производственных и структурных подразделений и контроль за его работой.

Обслуживание электротехнологических установок (электросварка, электролиз, электротермия и т.п.), а также сложного энергонасыщенного производственно–технологического оборудования, при работе которого тре-

буется постоянное техническое обслуживание и регулировка электроаппаратуры, электроприводов, ручных электрических машин, переносных и передвижных электроприемников, переносного электроинструмента, должен осуществлять электротехнологический персонал. Он должен иметь достаточные навыки и знания для безопасного выполнения работ и технического обслуживания закрепленной за ним установки.

Электротехнологический персонал производственных цехов и участков, не входящих в состав энергослужбы потребителя, осуществляющий эксплуатацию электротехнологических установок и имеющий группу по электробезопасности II и выше, в своих правах и обязанностях приравнивается к электротехническому; в техническом отношении он подчиняется энергослужбе потребителя.

Руководители, в непосредственном подчинении которых находится электротехнологический персонал, должны иметь группу по электробезопасности не ниже, чем у подчиненного персонала. Они должны осуществлять техническое руководство этим персоналом и контроль за его работой.

Перечень должностей и профессий электротехнического <*> и электротехнологического персонала, которым необходимо иметь соответствующую группу по электробезопасности, утверждает руководитель потребителя.

———————————————————————————

<*> В дальнейшем под электротехническим персоналом понимается и электротехнологический персонал, если не требуется разделения.

Руководителю потребителя присвоение группы по электробезопасности не требуется, если он делегировал свои полномочия по техническому руководству электроустановками руководящему работнику организации. Если указанные работники ранее имели группу и хотят ее подтвердить (или повысить), то проверка знаний проводится в обычном порядке, как для электротехнического персонала.

Неэлектротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током, присваивается группа по электробезопасности. Перечень должностей и профессий, требующих присвоения персоналу I группы по электробезопасности, определяет руководитель потребителя. Персоналу, усвоившему требования по электробезопасности, относящиеся к его производственной деятельности, присваивается группа I с оформлением в журнале установленной формы; удостоверение не выдается.

Присвоение группы I производится путем проведения инструктажа, который, как правило, должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током. Присвоение I группы по электробезопасности проводит работник из числа электротехнического персонала данного потребителя с группой по электробезопасности не ниже III.

Присвоение I группы по электробезопасности проводится с периодич-

ностью не реже 1 раза в год.

Обязательные формы работы с различными категориями работников <*>:

———————————————————————————

<*> Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации, утвержденные Приказом Минтопэнерго России от 19.02.2000 N 49 и зарегистрированные в Минюсте России 16.03.2000. Регистрационный номер 2150.

С административно-техническим персоналом:

– вводный и целевой (при необходимости) инструктажи по охране труда;

– проверка знаний правил, норм по охране труда, Межотраслевых правил по охране труда, правил пожарной безопасности и других нормативных документов;

– профессиональное дополнительное образование для непрерывного повышения квалификации.

С административно–техническим персоналом, имеющим права оперативного, оперативно–ремонтного или ремонтного персонала, помимо указанных форм работы должны проводиться все виды подготовки, предусмотренные для оперативного, оперативно–ремонтного или ремонтного персонала.

С оперативным и оперативно–ремонтным персоналом:

– вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи по охране труда, а также инструктаж по пожарной безопасности;

– подготовка по новой должности или профессии с обучением на рабочем месте (стажировка);

– проверка знаний правил, норм по охране труда, Межотраслевых правил по охране труда, правил пожарной безопасности и других нормативных документов;

– дублирование;

– специальная подготовка;

– контрольные противоаварийные и противопожарные тренировки;

– профессиональное дополнительное образование для непрерывного повышения квалификации.

С ремонтным персоналом:

– вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи по охране труда, а также инструктаж по пожарной безопасности;

– подготовка по новой должности или профессии с обучением на рабочем месте (стажировка);

– проверка знаний правил, норм по охране труда, Межотраслевых правил по охране труда, правил пожарной безопасности и других нормативных документов;

– профессиональное дополнительное образование для непрерывного

повышения квалификации.

Проведение инструктажей по безопасности труда допускается совмещать с инструктажами по пожарной безопасности.

Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены (до допуска к самостоятельной работе) в специализированных центрах подготовки персонала (учебных комбинатах, учебно–тренировочных центрах и т.п.).

Электротехнический персонал до назначения на самостоятельную работу или при переходе на другую работу (должность), связанную с эксплуатацией электроустановок, а также при перерыве в работе в качестве электротехнического персонала свыше 1 года обязан пройти стажировку (производственное обучение) на рабочем месте.

Для обучения работнику должен быть предоставлен срок, достаточный для ознакомления с оборудованием, аппаратурой, оперативными схемами и одновременного изучения в необходимом для данной должности (профессии) объеме:

– правил устройства электроустановок, правил безопасности, правил и приемов оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве, правил применения и испытания средств защиты, Межотраслевых правил по охране труда;

– должностных и производственных инструкций;

– инструкций по охране труда;

– других правил, нормативных и эксплуатационных документов, действующих у данного потребителя.

Программы подготовки электротехнического персонала с указанием необходимых разделов правил и инструкций составляются руководителями (ответственными за электрохозяйство) структурных подразделений и могут утверждаться ответственным за электрохозяйство потребителя.

Программа подготовки руководителей оперативного персонала, работников из числа оперативного, оперативно–ремонтного и ремонтного персонала должна предусматривать стажировку и проверку знаний, а для руководителей оперативного персонала, работников из числа оперативного, оперативно–ремонтного персонала еще и дублирование.

Работник, проходящий стажировку (дублирование), должен быть соответствующим документом закреплен за опытным работником по организации (для руководителей и специалистов) или по структурному подразделению (для рабочих).

Стажировка проводится под руководством ответственного обучающего работника и осуществляется по программам, разработанным для каждой должности (рабочего места) и утвержденным в установленном порядке. Продолжительность стажировки должна быть от 2 до 14 смен.

Руководитель потребителя или структурного подразделения может освобождать от стажировки работника, имеющего стаж по специальности не

менее 3 лет, переходящего из одного цеха в другой, если характер его работы и тип оборудования, на котором он работал ранее, не меняется.

Допуск к стажировке оформляется соответствующим документом руководителя Потребителя или структурного подразделения. В документе указываются календарные сроки стажировки и фамилии работников, ответственных за ее проведение.

Продолжительность стажировки устанавливается индивидуально в зависимости от уровня профессионального образования, опыта работы, профессии (должности) обучаемого.

В процессе стажировки работник должен:

– усвоить требования правил эксплуатации, охраны труда, пожарной безопасности и их практическое применение на рабочем месте;

– изучить схемы, производственные инструкции и инструкции по охране труда, знание которых обязательно для работы в данной должности (профессии);

– отработать четкое ориентирование на своем рабочем месте;

– приобрести необходимые практические навыки в выполнении производственных операций;

– изучить приемы и условия безаварийной, безопасной и экономичной эксплуатации обслуживаемого оборудования.

Допуск к дублированию для оперативного персонала и самостоятельной работе для административно–технического и ремонтного персонала оформляется соответствующим документом по потребителю.

После дублирования работник из числа оперативного или оперативно–ремонтного персонала может быть допущен к самостоятельной работе. Продолжительность дублирования – от 2 до 12 рабочих смен. Для конкретного работника она устанавливается решением комиссии по проверке знаний в зависимости от уровня его профессиональной подготовки, стажа и опыта работы.

Допуск к самостоятельной работе для оперативного персонала оформляется соответствующим документом руководителя потребителя.

В период дублирования работник должен принять участие в контрольных противоаварийных в противопожарных тренировках с оценкой результатов и оформлением в соответствующих журналах.

Количество тренировок и их тематика определяются программой подготовки дублера.

Если за время дублирования работник не приобрел достаточных производственных навыков или получил неудовлетворительную оценку по противоаварийной тренировке, допускается продление его дублирования на срок от 2 до 12 рабочих смен и дополнительное проведение контрольных противоаварийных тренировок. Продление дублирования оформляется соответствующим документом потребителя.

Если в период дублирования будет установлена профессиональная непригодность работника к данной деятельности, он снимается с подготовки.

Во время прохождения дублирования обучаемый может производить

оперативные переключения, осмотры и другие работы в электроустановках только с разрешения и под надзором обучающего. Ответственность за правильность действий обучаемого и соблюдение им правил несут как сам обучаемый, так и обучающий его работник.

Проверка знаний работников подразделяется на первичную и периодическую (очередную и внеочередную).

Первичная проверка знаний проводится у работников, впервые поступивших на работу, связанную с обслуживанием электроустановок, или при перерыве в проверке знаний более 3–х лет;

Очередная проверка должна производиться в следующие сроки:

– для электротехнического персонала, непосредственно организующего и проводящего работы по обслуживанию действующих электроустановок или выполняющего в них наладочные, электромонтажные, ремонтные работы или профилактические испытания, а также для персонала, имеющего право выдачи нарядов, распоряжений, ведения оперативных переговоров, – 1 раз в год;

– для административно–технического персонала, не относящегося к предыдущей группе, а также для специалистов по охране труда, допущенных к инспектированию электроустановок, – 1 раз в 3 года.

Время следующей проверки устанавливается в соответствии с датой последней проверки знаний.

Работникам, получившим при очередной проверке знаний неудовлетворительную оценку, комиссия назначает повторную проверку в срок не позднее 1 месяца со дня последней проверки. Срок действия удостоверения для работника, получившего неудовлетворительную оценку, автоматически продлевается до срока, назначенного комиссией для второй проверки, если нет записанного в журнал проверки знаний специального решения комиссии о временном отстранении работника от работы в электроустановках.

Внеочередная проверка знаний проводится независимо от срока проведения предыдущей проверки:

– при введении в действие у потребителя новых или переработанных норм и правил;

– при установке нового оборудования, реконструкции или изменении главных электрических и технологических схем (необходимость внеочередной проверки в этом случае определяет технический руководитель);

– при назначении или переводе на другую работу, если новые обязанности требуют дополнительных знаний норм и правил;

– при нарушении работниками требований нормативных актов по охране труда;

– по требованию органов государственного надзора;

– по заключению комиссий, расследовавших несчастные случаи с людьми или нарушения в работе энергетического объекта;

– при повышении знаний на более высокую группу;

– при проверке знаний после получения неудовлетворительной оценки;

– при перерыве в работе в данной должности более 6 месяцев.

Объем знаний для внеочередной проверки и дату ее проведения определяет ответственный за электрохозяйство потребителя с учетом требований Межотраслевых правил по охране труда.

Внеочередная проверка, проводимая по требованию органов государственного надзора и контроля, а также после происшедших аварий, инцидентов и несчастных случаев, не отменяет сроков очередной проверки по графику и может проводиться в комиссии органов госэнергонадзора.

В случае внесения изменений и дополнений в действующие правила внеочередная проверка не проводится, а они доводятся до сведения работников с оформлением в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте.

Проверка знаний норм и правил работы в электроустановках потребителей должна осуществляться по утвержденным руководителем потребителя календарным графикам.

Работники, подлежащие проверке знаний, должны быть ознакомлены с графиком.

Проверка знаний у ответственных за электрохозяйство потребителей, их заместителей, а также специалистов по охране труда, в обязанности которых входит контроль за электроустановками, проводится в комиссии органов госэнергонадзора.

Допускается не проводить по согласованию с органами госэнергонадзора проверку знаний у специалиста, принятого на работу по совместительству в целях возложения на него обязанностей ответственного за электрохозяйство, при одновременном выполнении следующих условий:

– если с момента проверки знаний в комиссии госэнергонадзора в качестве административно–технического персонала по основной работе прошло не более 6–ти месяцев;

– энергоемкость электроустановок, их сложность в организации по совместительству не выше, чем по месту основной работы;

– в организации по совместительству отсутствуют электроустановки напряжением выше 1000 В.

Для проведения проверки знаний электротехнического и электротехнологического персонала организации руководитель потребителя должен назначить приказом по организации комиссию в составе не менее пяти человек.

Председатель комиссии должен иметь группу по электробезопасности V у потребителей с электроустановками напряжением до и выше 1000 В и группу IV у потребителей с электроустановками напряжением только до 1000 В. Председателем комиссии назначается, как правило, ответственный за электрохозяйство потребителя.

Все члены комиссии должны иметь группу электробезопасности и пройти проверку знаний в комиссии органа госэнергонадзора.

Допускается проверка знаний отдельных членов комиссии на месте, при условии, что председатель и не менее двух членов комиссии прошли проверку знаний в комиссии органов госэнергонадзора.

В структурных подразделениях руководителем потребителя могут создаваться комиссии по проверке знаний работников структурных подразделений.

Члены комиссий структурных подразделений должны пройти проверку знаний норм и правил в центральной комиссии потребителя.

При проведении процедуры проверки знаний должно присутствовать не менее трех членов комиссии, в том числе обязательно председатель (заместитель председателя) комиссии.

Проверка знаний работников потребителей, численность которых не позволяет образовать комиссии по проверке знаний, должна проводиться в комиссиях органов госэнергонадзора.

Комиссии органов госэнергонадзора для проверки знаний могут создаваться при специализированных образовательных учреждениях (институтах повышения квалификации, учебных центрах и т.п.). Они назначаются приказом (распоряжением) руководителя органа госэнергонадзора. Члены комиссии должны пройти проверку знаний в органе госэнергонадзора, выдавшем разрешение на создание этой комиссии. Председателем комиссии назначается старший государственный инспектор (государственный инспектор) по энергетическому надзору.

Представители органов государственного надзора и контроля по их решению могут принимать участие в работе комиссий по проверке знаний всех уровней.

Проверка знаний каждого работника производится индивидуально.

Для каждой должности (профессии) руководителем потребителя или структурного подразделения должен быть определен объем проверки знаний норм и правил с учетом должностных обязанностей и характера производственной деятельности работника по соответствующей должности (профессии), а также требований тех нормативных документов, обеспечение и соблюдение которых входит в его служебные обязанности.

По результатам проверки знаний правил устройства электроустановок, Межотраслевых правил по охране труда, правил безопасности и других нормативно–технических документов электротехническому (электротехнологическому) персоналу устанавливается группа по электробезопасности.

Результаты проверки знаний заносятся в журнал установленной формы и подписываются всеми членами комиссии. Если проверка знаний нескольких работников проводилась в один день и состав комиссии не менялся, то члены комиссии могут расписаться 1 раз после окончания работы; при этом должно быть указано прописью общее число работников, у которых проведена проверка знаний.

Персоналу, успешно прошедшему проверку знаний, выдается удостоверение установленной формы.

Допускается использование контрольно-обучающих машин на базе персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) для всех видов проверки, кроме первичной; при этом запись в журнале проверки знаний не отменяется.

Разработанная программа при этом должна обеспечить возможность использования ее в режиме обучения.

В случае использования ПЭВМ и получения неудовлетворительной оценки в протоколе автоэкзаменатора и несогласия проверяемого комиссия задает дополнительные вопросы. Окончательная оценка устанавливается по результатам опроса комиссии с учетом требования Межотраслевых правил по охране труда.

Специалисту по охране труда, в обязанности которого входит инспектирование электроустановок, прошедшему проверку знаний в объеме IV группы по электробезопасности, выдается удостоверение на право инспектирования электроустановок своего потребителя.

У потребителей должна проводиться систематическая работа с электротехническим персоналом, направленная на повышение его квалификации, уровня знаний правил и инструкций по охране труда, изучение передового опыта и безопасных приемов обслуживания электроустановок, предупреждение аварийности и травматизма.

Объем организуемой технической учебы, необходимость проведения противоаварийных тренировок определяет технический руководитель потребителя.

5.3 Организационные мероприятия обеспечивающие безопасность работ

Они обеспечивают безопасность работы в электроустановке. К ним относят письменное оформление задания на работу нарядом–допуском или записью в оперативный журнал устного распоряжения, которую делает отдающий или получивший распоряжение до его выполнения, или письменным перечнем работ, которые ответственный за электрохозяйство разрешает выполнять при эксплуатации; соблюдение процедуры допуска ремонтного персонала к работе; надзор во время работы за соблюдением правил безопасности этим персоналом; письменное оформление окончания работ, а также перерывов в работе и перевода работающих на другое рабочее место. К организационным мероприятиям относится и назначение лиц, ответственных за безопасное ведение работ, а также установление рационального режима труда и отдыха.

Наряд – это задание на работы, составленное на бланке установленной формы и определяющее содержание, и место работы, время ее начала и окончания, срок (не более 15 дней), условия безопасного выполнения, состав бригады и ответственных за безопасное выполнение работы*:*

– выдающего наряд (или отдающего распоряжение);

– допускающего – ответственного лица из оперативного персонала;

– ответственного руководителя работ;

– производителя работ; наблюдающего, членов бригады.

Распоряжение действует одну смену.

Лицо, выдающее наряд или отдающее распоряжение, устанавливает

объем работы и отвечает за ее безопасное выполнение, достаточность квалификации ответственного руководителя работ или наблюдающего, а если ответственный руководитель работ не назначается, то и за достаточность квалификации членов бригад. Право выдачи нарядов или распоряжений предоставляется лицам из электротехнического персонала, уполномоченным на это распоряжением лица, ответственного за электрохозяйство.

Допускающий несет ответственность за правильность выполнения и достаточность мер безопасности, которые необходимы для безопасности допускаемых, а также за правильность допуска к работе и приемки рабочего места после окончания работ с соответствующим оформлением.

Ответственного руководителя работ (или руководителя работ) с группой V обязательно назначают только при работах без снятия напряжения выше 1000 В на токоведущих частях или вблизи них, а также со снятием напряжения выше 1000 В или вдали от токоведущих частей, но несколькими бригадами одновременно. Он отвечает за численный состав бригад и квалификацию их членов. Принимая рабочее место от допускающего, руководитель отвечает наравне с ним за правильную подготовку рабочего места и выполнение мер безопасности.

Производитель работ (например, бригадир ремонтной бригады) принимает рабочее место от допускающего (если не назначали руководителя работ) и, так же как он, отвечает за правильное выполнение всех необходимых мер безопасности. Производитель работ обязан: проинструктировать бригаду о мерах безопасности и обеспечить их выполнение, членами бригады, соблюдая правила безопасности; следить за тем, чтобы установленные на месте работы ограждения, плакаты и переносные заземления не снимали, кроме тех случаев, которые предусмотрены в наряде.

Наблюдающего назначают из электротехнического персонала с группой III для надзора за бригадами строителей, такелажников и другого не электротехнического персонала при его работе в электроустановке и за электротехническим персоналом при особо опасных условиях работы. Наблюдающему запрещается совмещать надзор с какой–либо работой или оставлять бригаду без надзора хотя бы на короткое время. Он должен контролировать наличие установленных на месте работы заземлений, ограждений, плакатов, запирающих устройств; не допускать опасного приближения персонала или его инструмента к токоведущим частям и отвечать за невозможность поражения членов бригады электрическим током. За безопасность, связанную с технологией работ, например на высоте, или такелажных, отвечает бригадир.

Члены бригады обязаны соблюдать инструкции, полученные при допуске к работе и во время нее.

Допускается одному лицу совмещать обязанности двух лиц из перечисленных ранее, кроме обязанностей допускающего и производителя работ. При работе в установках напряжением до 1000 В по распоряжению можно совмещать обязанности допускающего и члена бригады. Допускается совмещение обязанностей допускающего и производителя работ при подготовке рабочего места на ВЛ любого напряжения, когда она сводится только к про-

верке отсутствия напряжения и установке переносных заземлений без операций с коммутационной аппаратурой.

Наряд выписывают в двух экземплярах и вручают допускающему непосредственно перед подготовкой им рабочего места. При работе по наряду в бригаде должно быть не менее двух лиц, включая производителя работ.

Перед допуском бригады к работе по наряду производитель работ совместно с допускающим (а когда назначен руководитель, то и с ним) проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места. Затем производитель работ (или руководитель, если он назначен) должен расписаться в наряде. После этого производится допуск, который заключается в том, что допускающий:

– проверяет соответствие состава бригады, указанному в наряде по именным удостоверениям;

– прочитывает по наряду фамилии руководителя, производителя работ и содержание работы, проводит краткий целевой инструктаж по технике безопасности;

– объясняет бригаде, откуда снято напряжение, где наложены заземления, какие части ремонтируемых и соседних присоединений к сборно–распределительным шинам (например, линий, вводов) остались под напряжением, какие особые условия безопасности должны соблюдаться, указывает границы рабочего места и убеждается, что все понято правильно;

– доказывает бригаде, что напряжение отсутствует, показывая наложенные заземления, а если последние не видны с места работ, то прикасается рукой к токоведущим частям;

– сдает рабочее место производителю работ, что удостоверяют подписями в специальной графе обоих экземпляров наряда с указанием времени и даты начала работ.

Один экземпляр должен находиться у производителя работ, а второй – у оперативного персонала, который записывает время допуска, а впоследствии и окончания работ в оперативный журнал с указанием номера наряда.

С момента допуска к работе производитель работ (или наблюдающий) обязан вести надзор за бригадой, чтобы предупредить нарушения правил. При необходимости отлучиться, если его на время отлучки не может заменить лицо, выдавшее наряд, руководитель работ или лицо оперативного персонала, надо вывести бригаду из РУ и запереть за собой дверь, а также оформить перерыв в работе в соответствующей графе наряда. Члены бригады могут отлучаться, но число остающихся, включая производителя работ при работе по наряду, должно быть не менее двух. Допускается пребывание одного члена бригады в другом помещении отдельно от производителя работ при необходимости по условиям работы, например при регулировке выключателя, привод которого расположен за стеной. Этого члена бригады производитель работ должен привести на место работ и дать ему необходимые указания по технике безопасности. Руководитель работ и оперативный персонал периодически проверяют соблюдение работающими правил безопасности. В случае их нарушения наряд у производителя работы отбирают и от-

страняют от нее бригаду.

После полного окончания работы и вывода бригады из РУ руководитель работ принимает рабочее место, расписывается в наряде об окончании работы и сдает его оперативному персоналу. Если руководителя не назначили, то все это выполняет производитель работ. Оперативный персонал закрывает наряд после осмотра места работ (кроме работ на линии), чтобы убедиться, что там не осталось людей и инструмента. До закрытия наряда он снимает временные заземления, ограждения и плакаты. Закрытие наряда выражается в соответствующей пометке в нем, а также в оперативном журнале с подписью и указанием даты и времени. Только после закрытия наряда оборудование, отключенное для ремонта, включают в работу. При перерыве в работе на обед или на ночь наряд остается действительным, если отключенные части не включали и условия работ не изменялись. После перерыва на ночь бригаду допускает допускающий, а на обед – производитель работ.

Организация работ по распоряжению. Распоряжение имеет разовый характер, срок его действия определяется продолжительностью рабочего дня исполнителей. При необходимости продолжения работы, при изменении условий работы или состава бригады распоряжение должно отдаваться заново.

При перерывах в работе в течение дня повторный допуск осуществляется производителем работ.

Распоряжение на работу отдается производителю работ и допускающему. В электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, в тех случаях, когда допуск на рабочем месте не требуется, распоряжение может быть отдано непосредственно работнику, выполняющему работу.

Работы, выполнение которых предусмотрено по распоряжению, могут по усмотрению работника, выдающего распоряжение, проводиться по наряду.

Распоряжение допускается выдавать для работы поочередно на нескольких электроустановках (присоединениях).

Допуск к работам по распоряжению должен быть оформлен в Журнале учета работ по нарядам и распоряжениям Приложение № 5 /3/.

По распоряжению оперативным и оперативно–ремонтным персоналом или под его наблюдением ремонтным персоналом в электроустановках напряжением выше 1000 В могут проводиться неотложные работы продолжительностью не более 1 часа без учета времени на подготовку рабочего места.

Неотложные работы, для выполнения которых требуется более 1 часа или участия более трех работников, включая работника, осуществляющего наблюдение, должны проводиться по наряду.

При проведении неотложных работ производитель работ (наблюдающий) из числа оперативного персонала, выполняющий работу или осуществляющий наблюдение за работающими в электроустановках напряжением выше 1000 В, должен иметь группу IV, а в электроустановках напряжением

до 1000 В – группу III. Члены бригады, работающие в электроустановках напряжением до и выше 1000 В, должны иметь группу III.

Перед допуском должны быть выполнены все технические мероприятия по подготовке рабочего места, определяемые выдающим распоряжение.

В электроустановках напряжением выше 1000 В допускается выполнять по распоряжению следующие работы: на электродвигателе, от которого кабель отсоединен и концы его замкнуты накоротко и заземлены; на генераторе, от выводов которого отсоединены шины и кабели; в РУ на выкаченных тележках КРУ, у которых шторки отсеков заперты на замок, а также работы на нетоковедущих частях, не требующие снятия напряжения и установки временных ограждений.

Допускается выполнение работ по распоряжению в электроустановках напряжением до 1000 В, кроме работ на сборных шинах РУ и на присоединениях, по которым может быть подано напряжение на сборные шины, на ВЛ с использованием грузоподъемных машин и механизмов.

В электроустановках напряжением до 1000 В, расположенных в помещениях, кроме особо опасных в особо неблагоприятных условиях в отношении поражения людей электрическим током, работник, имеющий группу III и право быть производителем работ, может работать единолично.

При монтаже, ремонте и эксплуатации вторичных цепей, устройств релейной защиты, измерительных приборов, электроавтоматики, телемеханики, связи, включая работы в приводах и агрегатных шкафах коммутационных аппаратов, независимо от того, находятся они под напряжением или нет, производителю работ разрешается по распоряжению отключать и включать вышеуказанные устройства, а также опробовать устройства защиты и электроавтоматики на отключение и включение выключателей с разрешения оперативного персонала.

В электроустановках напряжением выше 1000 В одному работнику, имеющему группу III, по распоряжению допускается проводить:

– благоустройство территории ОРУ, скашивание травы, расчистку от снега дорог и проходов;

– ремонт и обслуживание устройств проводной радио– и телефонной связи, осветительной электропроводки и арматуры, расположенных вне камер РУ на высоте не более 2,5 м;

– возобновление надписей на кожухах оборудования и ограждениях вне камер РУ;

– наблюдение за сушкой трансформаторов, генераторов и другого оборудования, выведенного из работы;

– обслуживание маслоочистительной и прочей вспомогательной аппаратуры при очистке и сушке масла;

– работы на электродвигателях и механической части вентиляторов и маслонасосов трансформаторов, компрессоров;

– другие работы, предусмотренные Межотраслевыми правилами по охране труда.

По распоряжению единолично уборку коридоров ЗРУ и электропомещений с электрооборудованием напряжением до и выше 1000 В, где токоведущие части ограждены, может выполнять работник, имеющий группу II. Уборку в ОРУ может выполнять один работник, имеющий группу III.

В помещениях с отдельно установленными распределительными щитами (пунктами) напряжением до 1000 В уборку может выполнять один работник, имеющий группу I.

На ВЛ по распоряжению могут выполняться работы на нетоковедущих частях, не требующих снятия напряжения, в том числе: с подъемом до 3 м, считая от уровня земли до ног работающего; без разборки конструктивных частей опоры; с откапыванием стоек опоры на глубину до 0,5 м; по расчистке трассы ВЛ, когда не требуется принимать меры, предотвращающие падение на провода вырубаемых деревьев, либо когда обрубка веток и сучьев не связана с опасным приближением людей, приспособлений и механизмов к проводам и с возможностью падения веток и сучьев на провода.

Допускается на ВЛ одному работнику, имеющему группу II, выполнять по распоряжению следующие работы:

– осмотр ВЛ в светлое время суток при благоприятных метеоусловиях, в том числе с оценкой состояния опор, проверкой загнивания деревянных оснований опор;

– восстановление постоянных обозначений на опоре;

– замер габаритов угломерными приборами;

– противопожарную очистку площадок вокруг опор;

– окраску бандажей на опорах.

Организация работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации согласно перечню. Небольшие по объему виды работ, выполняемые в течение рабочей смены и разрешенные к производству в порядке текущей эксплуатации, должны содержаться в заранее разработанном и подписанном техническим руководителем или ответственным за электрохозяйство, утвержденном руководителем организации перечне работ. При этом должны быть соблюдены следующие требования:

– работа в порядке текущей эксплуатации (перечень работ) распространяется только на электроустановки напряжением до 1000 В;

– работа выполняется силами оперативного или оперативно–ремонтного персонала на закрепленном за этим персоналом оборудовании, участке.

Подготовка рабочего места осуществляется теми же работниками, которые в дальнейшем выполняют необходимую работу.

Работа в порядке текущей эксплуатации, включенная в перечень, является постоянно разрешенной, на которую не требуется каких–либо дополнительных указаний, распоряжений, целевого инструктажа.

При оформлении перечня работ в порядке текущей эксплуатации следует учитывать условия обеспечения безопасности и возможности единоличного выполнения конкретных работ, квалификацию персонала, сте-

пень важности электроустановки в целом или ее отдельных элементов в технологическом процессе.

Перечень должен содержать указания, определяющие виды работ, разрешенные к выполнению бригадой.

В перечне должен быть указан порядок регистрации работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации (уведомление вышестоящего оперативного персонала о месте и характере работы, ее начале и окончании, оформлении работы записью в оперативном журнале и т. п.).

К работам, выполняемым в порядке текущей эксплуатации в электроустановках напряжением до 1000 В, могут быть отнесены:

– работы в электроустановках с односторонним питанием;

– отсоединение, присоединение кабеля, проводов электродвигателя, другого оборудования;

– ремонт магнитных пускателей, рубильников, контакторов, пусковых кнопок, другой аналогичной пусковой и коммутационной аппаратуры при условии установки ее вне щитов и сборок;

– ремонт отдельных электроприемников (электродвигателей, электрокалориферов и т. д.);

– ремонт отдельно расположенных магнитных станций и блоков управления, уход за щеточным аппаратом электрических машин;

– снятие и установка электросчетчиков, других приборов и средств измерений;

– замена предохранителей, ремонт осветительной электропроводки и арматуры, замена ламп и чистка светильников, расположенных на высоте не более 2,5 м;

– другие работы, выполняемые на территории организации, в служебных и жилых помещениях, складах, мастерских и т. д.

Приведенный перечень работ не является исчерпывающим и может быть дополнен решением руководителя организации. В перечне должно быть указано, какие работы могут выполняться единолично.

5.4 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

Их выполняют в указанной далее последовательности, когда работы должны проводиться со снятием напряжения, до их начала.

1. Отключают от источника напряжения необходимые для работы токоведущие части и принимают меры, препятствующие ошибочному или самопроизвольному включению выключателей или других коммутационных аппаратов, через которые напряжение могло бы попасть на эти токоведущие части.

2. На приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационными аппаратами вывешивают плакаты безопасности, запрещающие включение.

3. Проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены на время работ.

4. Включают заземляющие ножи разъединителей или, если их нет, накладывают на токоведущие части переносные заземляющие проводники, которые еще до проверки отсутствия напряжения присоединяют к заземлению.

5. Ограждают при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением части (если работа производится вблизи таких частей) и вывешивают предупреждающие плакаты на этих ограждениях («СТОЙ НАПРЯЖЕНИЕ») и предписывающие на рабочем месте («РАБОТАТЬ ЗДЕСЬ»). При оперативном обслуживании электроустановки двумя лицами все эти операции выполняют вдвоем, а при единоличном обслуживании допускается делать это и одному человеку.

Отключения. 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 на расстояние регламентированное нормами; 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 коммутационным аппаратом на рабочее место может быть подано напряжение, должен быть видимый разрыв. Видимый разрыв может быть создан отключением разъединителей, снятием предохранителей, отключением отделителей и выключателей нагрузки, отсоединением или снятием шин и проводов.

Видимый разрыв может отсутствовать в комплектных распределительных устройствах заводского изготовления (в том числе с заполнением элегазом) с выкатными элементами и/или при наличии надежного механического указателя гарантированного положения контактов, а также в элегазовых комплектных распределительных устройствах электроэнергии (КРУЭ) напряжением 110 кВ и выше.

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.

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

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

– у разъединителей, отделителей, выключателей нагрузки ручные приводы в отключенном положении должны быть заперты на механический замок (в электроустановках напряжением 6–10 кВ с однополюсными разъединителями вместо механического замка допускается надевать на ножи диэлек-

трические колпаки);

– у 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 должна быть закрыта и заперта на механический замок задвижка и выпущен сжатый воздух, при этом спускные клапаны должны быть оставлены в открытом положении;

– 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, закрытие кнопок, установка между контактами коммутационного аппарата изолирующих накладок и др. 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.

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" дол-

жен 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.

На приводах разъединителей, которыми отключена для работ ВЛ или КЛ, независимо от числа работающих бригад, вывешивается один плакат "НЕ ВКЛЮЧАТЬ! РАБОТА НА ЛИНИИ". Этот плакат вывешивается и снимается по указанию оперативного персонала, ведущего учет числа работающих на линии бригад.

Проверка 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 (в том числе с заполнением элегазом) проверку отсутствия напряжения допускается производить 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 ВЛ напряжением 330 кВ и выше достаточным признаком отсутствия напряжения является отсутствие коронирования.

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 ВЛ 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.

Проверять отсутствие напряжения выверкой схемы в натуре разрешается:

– в ОРУ, КРУ и КТП наружной установки, а также на ВЛ при тумане, дожде, снегопаде в случае отсутствия специальных указателей напряжения;

– в ОРУ напряжением 330 кВ и выше и на двухцепных ВЛ напряжением 330 кВ и выше.

При выверке схемы в натуре отсутствие напряжения на вводах ВЛ и КЛ подтверждается дежурным, в оперативном управлении которого находятся линии.

Выверка ВЛ в натуре заключается в проверке направления и внешних признаков линий, а также обозначений на опорах, которые должны соответ-

ствовать диспетчерским наименованиям линий.

На ВЛ напряжением 6–20 кВ при проверке отсутствия напряжения, выполняемой с деревянных или железобетонных опор, а также с телескопических вышек, указателем, работающим на принципе протекания емкостного тока, за исключением импульсного, следует обеспечить требуемую чувствительность указателя. Для этого его рабочую часть необходимо заземлять.

На ВЛ при подвеске проводов на разных уровнях проверять отсутствие напряжения указателем или штангой и устанавливать заземление следует снизу вверх, начиная с нижнего провода. При горизонтальной подвеске проверку нужно начинать с ближайшего провода.

В электроустановках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью при применении двухполюсного указателя проверять отсутствие напряжения нужно как между фазами, так и между каждой фазой и заземленным корпусом оборудования или защитным проводником. Допускается применять предварительно проверенный вольтметр. Не допускается пользоваться контрольными лампами.

Устройства, сигнализирующие об отключенном положении аппарата, блокирующие устройства, постоянно включенные вольтметры и т. п. являются только дополнительными средствами, подтверждающими отсутствие напряжения, и на основании их показаний нельзя делать заключение об отсутствии напряжения.

Установка заземления. 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 или непосредственно руками в диэлектрических перчатках.

Не допускается пользоваться для заземления проводниками, не предназначенными для этой цели, кроме случаев, регламентированных нормами.

Установка 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 может быть подано напряжение, за исключением отключенных для работы сборных шин, на которые достаточно установить одно заземление.

При работах на отключенном линейном разъединителе на провода спусков со стороны ВЛ независимо от наличия заземляющих ножей на разъ-

единителе 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. Видимый разрыв может в некоторых случаях отсутствовать /3/.

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.

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

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

Разрешение на временное снятие заземлений, а также на выполнение этих операций производителем работ должно быть внесено в строку наряда "Отдельные указания" с записью о том, где и для какой цели должны быть сняты заземления /3/.

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, диэлектрических накладок или отсоединение проводов, кабелей и шин. Перечень таких электроустановок утверждается работодателем и доводится до сведения персонала.

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, име-

ющий группу III, может быть из числа ремонтного персонала, а при заземлении 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 может один работник, имеющий группу IV, из числа оперативного персонала.

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

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

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 ВЛ отключена, допускается ее не заземлять при условии, что на ВЛ будут установлены заземления между рабочим местом и этим РУ или секционирующими аппаратами. На ВЛ указанные заземления следует устанавливать на опорах, имеющих заземляющие устройства.

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

Дополнительно к заземлениям, указанным в Межотраслевых правил по охране труда, на рабочем месте каждой бригады должны быть заземлены провода всех фаз, а при необходимости и грозозащитные тросы.

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

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

На одноцепных ВЛ заземление на рабочих местах необходимо устанавливать на опоре, на которой ведется работа, или на соседней. Допускается установка заземлений с двух сторон участка ВЛ, 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 может быть подано напряжение.

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, можно 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 допускается 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 можно присоединять к заземлителю, погруженному вертикально в грунт не менее чем на 0,5 м. Не допускается установка заземлителей в случайные навалы грунта.

На ВЛ 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 ВЛ, 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. Допускается использование второго работника, имеющего группу III, из числа ремонтного персонала, а на ВЛ, питающих потребителя, из числа персонала потребителя.

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

На рабочих местах на ВЛ устанавливать переносные заземления может производитель работ с членом бригады, имеющим группу III. Снимать эти переносные заземления могут по указанию производителя работ два члена бригады, имеющие группу III.

На ВЛ при проверке отсутствия напряжения, установке и снятии заземлений один из двух работников должен находиться на земле и вести

наблюдение за другим.

Требования к установке заземлений на ВЛ при работах в пролете пересечения с другими ВЛ, на одной отключенной цепи многоцепной ВЛ, на ВЛ под наведенным напряжением и при пофазном ремонте приведены в Межотраслевых правил по охране труда.

Ограждение рабочего места, вывешивание плакатов. В электроустановках должны быть вывешены плакаты "ЗАЗЕМЛЕНО" на приводах разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок электроустановки, и на ключах и кнопках дистанционного управления коммутационными аппаратами.

Для временного ограждения токоведущих частей, оставшихся под напряжением, могут применяться щиты, ширмы, экраны и т. п., изготовленные из изоляционных материалов.

При установке временных ограждений без снятия напряжения расстояние от них до токоведущих частей должно быть не менее указанного в Межотраслевых правил по охране труда. В электроустановках напряжением 6–10 кВ это расстояние может быть уменьшено до 0,35 м.

На временные ограждения должны быть нанесены надписи "СТОЙ! НАПРЯЖЕНИЕ" или укреплены соответствующие плакаты.

В электроустановках напряжением до 20 кВ в тех случаях, когда нельзя оградить токоведущие части щитами, допускается применение изолирующих накладок, помещаемых между отключенными и находящимися под напряжением токоведущими частями (например, между контактами отключенного разъединителя). Эти накладки могут касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. Устанавливать и снимать изолирующие накладки должны два работника, имеющие группы IV и III. Старший из них должен быть из числа оперативного персонала. При операциях с накладками следует использовать диэлектрические перчатки, изолирующую штангу (клещи).

На ограждениях камер, шкафах и панелях, граничащих с рабочим местом, должны быть вывешены плакаты "СТОЙ! НАПРЯЖЕНИЕ".

В ОРУ при работах, проводимых с земли, и на оборудовании, установленном на фундаментах и отдельных конструкциях, рабочее место должно быть ограждено (с оставлением проезда, прохода) канатом, веревкой или шнуром из растительных либо синтетических волокон с вывешенными на них плакатами "СТОЙ! НАПРЯЖЕНИЕ", обращенными внутрь огражденного пространства.

Разрешается пользоваться для подвески каната конструкциями, не включенными в зону рабочего места, при условии, что они остаются вне огражденного пространства.

При снятии напряжения со всего ОРУ, за исключением линейных разъединителей, последние должны быть ограждены канатом с плакатами "СТОЙ! НАПРЯЖЕНИЕ", обращенными наружу огражденного пространства.

В ОРУ при работах во вторичных цепях по распоряжению ограждать рабочее место не требуется.

В ОРУ на участках конструкций, по которым можно пройти от рабочего места к граничащим с ним участкам, находящимся под напряжением, должны быть установлены хорошо видимые плакаты "СТОЙ! НАПРЯЖЕНИЕ". Эти плакаты может устанавливать работник, имеющий группу III, из числа ремонтного персонала под руководством допускающего.

На конструкциях, граничащих с той, по которой разрешается подниматься, внизу должен быть вывешен плакат "НЕ ВЛЕЗАЙ! УБЬЕТ".

На стационарных лестницах и конструкциях, по которым для проведения работ разрешено подниматься, должен быть вывешен плакат "Влезать здесь!".

На подготовленных рабочих местах в электроустановках должен быть вывешен плакат "РАБОТАТЬ ЗДЕСЬ".

Не допускается убирать или переставлять до полного окончания работы плакаты и ограждения, установленные при подготовке рабочих мест допускающим, кроме случаев, оговоренных в графе "Особые указания" наряда (Приложение № 4 /3/).

5.5 Особенности правил электробезопасности при работе в электроустановках напряжением до 1000 В

Ответственным за электрохозяйство в таких установках может быть лицо с группой не ниже IV. Лицо, выдающее наряд или отдающее устные распоряжения на выполнение работ, – также с группой IV. Старший в смене оперативного персонала (или лицо, единолично обслуживающее такую установку) – с группой III. Также не менее группы III должен иметь производитель работ со снятием напряжения (без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них – группу IV).

К работам без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них в данных установках относят работы на ВЛ на расстоянии от работающих до проводов меньше 0,6 м, а от грузоподъемных машин, стропов, грузов – 1 м. В РУ напряжением до 1000В расстояние от работающих до токоведущих частей не нормируют: лишь бы исключалось прикосновение к ним. При работе без снятия напряжения надо оградить части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение. Временное ограждение в виде ширмы должно быть изготовлено из дерева или другого диэлектрического материала. В случае необходимости оно может касаться токоведущих частей (изоляционные накладки между контактами отключенного рубильника). Накладки устанавливают вдвоем – лица с IV и III группами, пользуясь диэлектрическими перчатками, галошами и клещами. Работать вблизи токоведущих частей следует в диэлектрических галошах или стоя на диэлектрическом коврике, на изолирующей подставке и применяя инструменты с изолированными рукоятками. Можно использовать обычные, надев диэлектрические перчатки.

По наряду в установках напряжением до 1000 В выполняют работы по ремонту, монтажу, наладке и испытанию электрооборудования и приборов следующих объектов: распределительных устройств, щитов; воздушных и кабельных вводов и линий; электрических машин и трансформаторов, если работа на них по местным условиям особо опасна или важна. Однако, как правило, работу со снятием напряжения в установках напряжением до 1000 В выполняют по распоряжению. Отдающий распоряжение назначает производителя работ и указывает необходимые мероприятия безопасности. Затем он сам или .получивший распоряжение делает запись в оперативном журнале, где указывает: кем отдано распоряжение, содержание, время и место работы, категорию работ в отношении мер безопасности, необходимые мероприятия безопасности, фамилии, инициалы и квалификационные группы производителя работ и членов бригады. После выполнения технических мероприятий по подготовке рабочего места их также записывают. Производитель работ принимает рабочее место и расписывается в журнале, указав время.

Работы со снятием напряжения до 1000 В может единолично выполнять лицо с группой III, а работы без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них должна выполнять бригада, состоящая не менее чем из двух лиц, включая производителя работ. Накладывать временное переносное заземление на отключенные токоведущие части обязательно при работе со снятием напряжения выше 380 В, а также при работе на ВЛ 380/220 В, воздушных и кабельных вводах в здания, сборных шинах РУ, щитов и сборок с любым напряжением до 1000 В. Накладывать и снимать заземления в установке напряжением до 1000 В может одно лицо оперативного персонала с группой III, надев диэлектрические перчатки.

В тех случаях, когда временного заземления не устанавливают, необходимы дополнительные мероприятия, предотвращающие ошибочную подачу напряжения на место работ: кроме отключения установочного автомата или магнитного пускателя вынимают патроны предохранителей. Допускается вместо этого запирать рукоятки коммутационных аппаратов или двери шкафов, в которых расположены эти аппараты, укрывать пусковые кнопки дистанционного включения или отсоединять концы проводов от включающей катушки. Между контактами выключателя два лица (с группами IV и III, причем второй может быть из числа ремонтного персонала) вставляют изолирующие накладки, используя диэлектрические перчатки и клещи.

Включать и отключать пусковую аппаратуру станка или производственного механизма разрешается работающим на них лицам (токарь, доярка) после получения инструктажа и практического обучения на рабочем месте электриком. Тем, кто обслуживает электротехнологические установки (электрозакалка, доильные установки), а также водителям автокранов присваивают квалификационную группу I, а при определенном стаже работы — II. Этим лицам разрешается также заменять лампы, обтирать и чистить осветительную, пусковую и защитную аппаратуру и электродвигатели после снятия с них напряжения. В порядке текущей эксплуатации без распоряжений

или заявок, но с записью в журнале оперативный персонал может выполнять следующие работы: без снятия напряжения – уборку помещений до ограждения, чистку и обтирку корпусов электрооборудования, доливку масла в подшипник, уход за кольцами или коллекторами электрических машин, замену щеток, ламп или предохранителей; при полном снятии напряжения — ремонт магнитных пускателей и другой пусковой и коммутационной аппаратуры при установке ее вне щитов и сборок, а также небольшой ремонт отдельных электроприемников и осветительной проводки.

Эти работы может выполнять один человек, если ремонтируемый электроприемник или участок проводки отключают не менее чем двумя аппаратами, например рубильником и вынутыми патронами предохранителей. При замене сгоревшей плавкой вставки предохранителя необходимо снять с него напряжение, отключив рубильник на том ответвлении, где сработал предохранитель. Если это невозможно сделать без отключения других ответвлений, например на групповых щитах, сборках с общим рубильником на ряд линий, то допускается единолично менять плавкие вставки вместе с патронами под напряжением, но сняв нагрузку (отключив выключатель ниже предохранителей), пользуясь защитными очками, диэлектрическими перчатками, изолирующими клещами. Без снятия нагрузки можно менять только предохранители в закрытых патронах.

5.6 Применение защитных средств при работе в электроустановках

В процессе эксплуатации электроустановок при определённых условиях даже самые совершенные меры защиты, заложенные в конструкцию или предусмотренные ПУЭ, не могут обеспечить безопасность работающих. Поэтому правила предусматривают при обслуживании действующих электроустановок обязательное применение защитных средств.

Все изолирующие средства разделяются на основные и дополнительные.

Основными называются такие защитные средства, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки, и которые позволяют работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением. К основным изолирующим защитным средствам относятся:

<u>в электроустановках напряжением выше 1000 В:</u>

– изолирующие штанги всех видов;

– изолирующие и электроизмерительные клещи;

– указатели напряжения;

– изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ, например, изолирующие лестницы, изолирующие площадки и т. д.

<u>в электроустановках напряжением до 1000 В:</u>

– изолирующие штанги;

– изолированный инструмент;

– указатели напряжения;

– диэлектрические перчатки;

– электроизмерительные и изолирующие клещи.

Дополнительными электрозащитными средствами называются такие изолирующие средства, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения электрическим током, но дополняют основные средства защиты, а также служат для защиты от напряжения прикосновения и шага. К дополнительным защитным средствам относятся:

в электроустановках напряжением выше 1000 В:

– диэлектрические перчатки;

– диэлектрические боты;

– диэлектрические ковры;

– изолирующие колпаки;

– штанги для переноса и выравнивания потенциалов.

в электроустановках напряжением до 1000 В:

– диэлектрические галоши;

– диэлектрические ковры;

– изолирующие подставки и накладки;

– изолирующие колпаки.

Нормы комплектования защитными средствами работников при обслуживании, ремонте и вводе в эксплуатацию электроустановок напряжением до 1000 В сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Нормы комплектования защитными средствами электроустановок при вводе в эксплуатацию (Распределительные устройства напряжением ниже 1000 В)

Наименование защитного средства	Необходимое количество
Указатели напряжения	1 шт.
Изолирующие клещи	1 шт.
Диэлектрические перчатки	2 пары
Монтерский инструмент с изолированными рукоятками	Не менее 2–х комплектов
Переносные заземления (при отсутствии стационарных заземляющих ножей)	Не менее 2–х штук
Диэлектрические галоши	2 пары
Предупредительные плакаты	Не менее 2–х комплектов
Диэлектрические коврики	2 шт.
Временные ограждения (щиты и прокладки)	Не менее 2–х комплектов
Защитные очки	1 пара
Противогаз	1 шт.

5.7 Основные особенности требований электробезопасности в животноводстве

Большинство помещений животноводческих ферм (стойла, моечные, молочные, доильные залы) по степени опасности поражения электрическим током относят к особо опасным. В них запрещается работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением, и даже заменять под напряжением лампы. При работе в них кроме правил, указанных выше, необходимо соблюдать следующие. Чтобы в нулевом проводе во время нормальной работы установки не было тока и падения напряжения, которое вызывало бы длительно существующий на зануленных частях потенциал относительно земли, осветительную нагрузку следует равномерно распределять по фазным проводам и по возможности включать трехполюсными выключателями. Все другие однофазные электроприемники, кроме тех, у которых мощность менее 0,6 кВт, следует включать на линейное напряжение, причем и в этом случае их мощность не должна превышать 1,3 кВт (иначе надо применять трехфазные).

Выключатели и предохранители следует размещать в соседних с сырыми сухих помещениях, а кнопки управления пусковой аппаратурой – у рабочих мест. Эти кнопки, а также светильники должны быть в пригодном для сырых помещений исполнении. Электродвигатели также должны быть специального сельскохозяйственного исполнения, например типа 4А...СХ. Соответствие исполнения электрооборудования условиям среды важно с точки зрения безопасности, реже повреждается изоляция.

Для выравнивания потенциалов металлические детали стойла, транспортеров и трубопроводы соединяют со стальной проволокой диаметром 6...8 мм, уложенной в бетонном полу под передними или задними ногами коров (под теми, которые ближе к наружной стене). При этом пол должен быть отделен от зоны нулевого потенциала снаружи здания участком повышенного удельного электрического сопротивления (гидроизоляцией фундамента здания, асфальтовой отмосткой вокруг него). На уже построенных фермах эти проводники можно укладывать или в неглубокие канавки, выдолбленные в бетонном полу с последующей заливкой цементным раствором, или просто на бетон под деревянный настил. Посередине здания (в поперечном проходе) их соединяют между собой приваренными двумя полосами, также уложенными в полу, а по торцам здания — болтовыми зажимами выше уровня пола, чтобы можно было один раз в год проверять сохранность каждой петли выравнивающих проводников, измеряя их сопротивление омметром. Оно не должно превышать 1 Ом. Образующаяся горизонтальная сетка должна быть соединена с нулевым проводом и может рассматриваться как его повторное заземление. Вместо нее в двухрядных коровниках можно применять систему наклонных электродов (под углом 36...50° к горизонту), завинченных под стойла со стороны кормушек так, что под крайними в ряду стойлами электроды (диаметром 10... 12 мм и длиной 0,6...0,8 длины стойла) отстоят один от другого

на удвоенную ширину стойла, следующие – на утроенную и т. д., располагаясь все реже к середине ряда. Стержни также соединяют с кормушками, автопоилками и зануляют. В коровниках с устройством выравнивания потенциалов надо проверять зануление, например, путем измерения сопротивления петли фаза – нуль, каждые 2 года в первые 6 лет эксплуатации, затем ежегодно, а после III лет – каждые 6 мес.

На свино– и овцеводческих фермах безопасность животных обеспечивают путем естественного выравнивания потенциалов зануленными металлоконструкциями здания и оборудования без специального устройства в полу, но при этом глубина заложения стоек металлоконструкций в бетонный пол должна быть не менее 20 см. На действующих фермах она может быть меньше. Следует проверить достаточность естественного выравнивания потенциалов. Могут успешно выравнивать потенциалы полы из железобетонных плит, если их металлическую арматуру электрически соединить между собой, с металлоконструкциями помещения и зануЛить.

На старых деревянных фермах потенциалы не выравнивают, а металлические трубопроводы автопоения должны быть изолированы от нулевого провода и корпусов электрооборудования изоляционными вставками, прокладками, муфтами. Заземлять или занулять автопоилки и трубопроводы к ним нельзя, иначе изоляционная вставка окажется зашунтированной. Совместное применение выравнивания потенциалов и изолирующих вставок нецелесообразно, так как эти защитные мероприятия взаимно исключают друг друга. Однако для борьбы с действием на вымя коров при доении даже малых напряжений, которые снижают надой, в вакуум–провод доильной установки всегда следует включать изоляционные вставки длиной 25 см, которые необходимо ежегодно проверять на чистоту наружной и внутренней поверхностей.

Троллейные провода для электротранспорта или облучателей в животноводческих помещениях нужно подвешивать на высоте не менее 3 м. Напряжение на них подают только на время работы установки.

Корпус стригального агрегата, рубильники, чугунные крышки выключателей необходимо заземлять. В качестве заземлителя передвижного электростригального пункта необходимо применять не менее двух стержней из угловой или круглой стали диаметром не менее 6 мм, вертикально заглубленных в землю на 1,5 м и на расстоянии 1,6...2м один от другого. Землю вокруг стержней нужно поливать водой. Заземляющую проводку к ним можно присоединять болтами, облудив и зачистив место соединения. Рабочие, обслуживающие электростригальный агрегат, должны знать правила электробезопасности и оказания первой помощи. Стригали должны работать, стоя на диэлектрических ковриках или сухом деревянном щите в сухой обуви. Овец также следует укладывать на деревянные щиты или столы. Электродвигатели стригальных машинок во вновь выпускаемых установках должны быть рассчитаны на напряжение 36 В.

Персонал, обслуживающий установки для ультрафиолетового облу-

чения животных или птицы, должен иметь III группу по электробезопасности, во время работы пользоваться очками типа ЗШ1–68–В1 со светофильтрами и не находиться в зоне действия ультрафиолетовых лучей.

Расстояние между электропроводкой и трубопроводами внутри здания должно быть не менее 10 см. Открытую электропроводку прокладывают на высоте не менее 2,5 м. Если этого не позволяет высота помещения, то проводку следует защитить от механических повреждений, например проложить скрыто в пластмассовых трубах (провода АПВ, АПРТО) или открыто, но защищенными проводами или кабелями (АВВГ). Вакуум–насос, электродвигатель и распределительный щит доильной установки располагают в специальном помещении, шкивы и приводной ремень ограждают. На животноводческих фермах применяют электрические водонагреватели. В сельском хозяйстве можно использовать и трехфазные электродные котлы для получения пара с давлением выше атмосферного или водогрейные котлы при напряжении до 1 кВ. Запрещается устанавливать электродные котлы в помещениях для животных. Их следует размещать только в помещениях электрокотельной, где кроме них могут находиться лишь технологическое оборудование и устройства защиты и автоматики. К обслуживанию котлов допускают электриков с группой не ниже III.

При неизолированном корпусе рекомендуется питать котел от отдельного трансформатора, но допускается и от общей сети. Неизолированный корпус котла должен быть занулен, если питается от сети с заземленной нейтралью. Трубопроводы и все открытые проводящие части в электрокотельной должны быть занулены в двух точках: одна — на корпусе котла, а вторая — на трубопроводе вне электрокотельной и не ближе 5 м от котла.

У котлов с изолированным корпусом трубопроводы горячей и холодной воды и пара должны иметь изолирующие вставки длиной не менее 1 м. Котел с изолированным корпусом должен иметь кожух или ограждение высотой не менее 2 м (сплошное или из сетки с ячейками не более 25х25мм). В ограждении должны быть остекленные окна для наблюдения за работой котла и дверь, запирающаяся на замок, с блокировкой, не дающей открыть ее, когда котел включен, или включить его при открытой двери. На двери должен быть плакат «Стой напряжение».

При изолированном корпусе трубопроводы зануляют (заземляют) в двух точках: одна — в котельной на трубе до вставки по ходу холодной воды или после — по ходу горячей, вторая — на трубе вне котельной и не ближе 5 м от первой. Кроме того, все эти точки и другие открытые проводящие части должны быть электрически соединены между собой для выравнивания потенциалов.

Трубопроводы и вспомогательное оборудование, температура стенок которых превышает 55 ºС, в доступных персоналу местах должны иметь теплоизоляцию.

Электрозащитные мероприятия должны обеспечить напряжение

прикосновения $U_{пр}$<2,5В в нормальном режиме работы. В аварийном это значение не должно превышать указанного ниже в зависимости от возможного времени действия:

I,с	0,01...0.03	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	>1.0
$U_{пр}$,В	340	290	170	100	75	65	55	24

Изолирующие вставки и изолирующие тяги приводов для регулирующих устройств на всей длине следует размещать внутри ограждения. Должна быть предусмотрена защита, отключающая котел без выдержки времени при к. з. в питающей линии, на вводе и в котле, а у котла с изолированным корпусом при однофазных замыканиях на землю с действием на сигнал. Кроме того, необходимо применять УЗО. Должны быть также предусмотрены защиты с выдержкой времени: от перегрузки, от не симметрии токов более 25 %, от остановки циркуляционных насосов, от ненормального уровня воды в котле и от повышения температуры выходящей воды более допустимой по паспорту.

Капитальный ремонт котла производят ежегодно, текущий — один раз в 6 мес. При предпусковой проверке котла и при капремонтах измеряют мегаомметром на 2,5 кВ сопротивление изоляции котла без воды по отношению к корпусу при положении электродов, соответствующем максимальной и минимальной мощности котла. Сопротивление должно составлять не менее 1 МОм. Кроме того, при этом испытывают эту изоляцию со вставками напряжением 2 кВ и отдельно изоляцию вставок напряжением 2$U_{Н}$ переменного тока.

У элементных водонагревателей, установленных в помещениях с искусственным или естественным выравниванием потенциалов, не требуется изолирующая вставка в трубопроводе горячей воды, если разбор ее происходит в этом же помещении, а корпус водонагревателя надежно соединен с устройством или металлоконструкциями, обеспечивающими выравнивание потенциалов с напряжением прикосновения до 12 В.

В душевых для персонала ферм и мастерских с подачей горячей воды от элементных водонагревателей должны быть изолирующие вставки и устройство выравнивания потенциалов в виде металлической сетки с ячейками не более 30 х 30 см, которую закладывают в слой бетона на глубину 2...3 см от поверхности пола душевой кабины, включая место раздевания. Сетку приваривают к трубам горячей и холодной воды и канализационным. При разборе горячей воды непосредственно у водонагревателя, расположенного в помещении без устройства для выравнивания потенциалов, его следует выполнить путем прокладки на расстоянии 0,5 м от основания водонагревателя в бетонном полу стального проводника, соединенного в двух точках с корпусом водонагревателя болтом. Если полы не токопроводящие (асфальт), выравнивания потенциалов не требуется, но корпус водонагревателя должен быть соединен с повторным заземлением нулевого провода стальной шиной.

Однофазные отопительные электродные водонагреватели напряжением до 220 В нельзя устанавливать в душевых или других особо опас-

ных помещениях. Корпус нагревателя следует занулять третьим проводом, присоединяемым к повторному заземлению на вводе в здание без захода на коммутационные аппараты. Проводимость этого провода должна равняться проводимости фазного провода, питающего однофазный нагреватель. Включение таких нагревателей через штепсельные розетки запрещается. Их следует защищать от к.з. и перегрузки автоматически.

В помещениях с электрообогреваемыми полами должно быть устройство для выравнивания потенциалов, состоящее из стальной сетки с ячейками 40 х 40 или 20 х 80 см, которая располагается на глубине 2...3см над нагревательными элементами, и стальных проводников диаметром не менее 6 мм, проложенных в бетонном полу вдоль технологических проходов. Расстояние между этими проводниками или от них до сетки должно быть не более 0,6 м на свинофермах и 1,2 м на фермах крупного рогатого скота. По торцам помещения эти проводники и сетка должны быть соединены между собой и с металлическими частями оборудования и здания и занулены. Следует ежегодно проверять сопротивление постоянному току петли из двух выравнивающих потенциал проводников или из проводника и сетки. Оно не должно превышать 1 Ом. При питании электрообогреваемых полов малым напряжением выравнивания потенциалов не требуется. Если конструкция выравнивающего устройства не позволяет проверять сопротивление петли, следует измерять напряжения прикосновения и шага при искусственно созданном однофазном к. з. Причем в случае защиты предохранителями напряжение прикосновения должно быть не более 24 В, а автоматами – 35 В, в том числе и в животноводческих комплексах.

5.8 Основные особенности правил электробезопасности при работах на ВЛ

Обходы и осмотры ВЛ под любым напряжением могут проводить единолично и без наряда лица с группой не ниже II. При этом всегда следует считать, что линия под напряжением, и во время осмотра нельзя подниматься на опоры или конструкции мачтовых подстанций и разъединительных пунктов. Ночью обходчик должен идти по краю трассы, чтобы не попасть под напряжение при обрыве провода.

Обнаружив оборвавшийся или сильно провисший провод, электрик должен принять меры для предотвращения приближения к нему людей. Если провод касается земли, то при напряжении линии более 1 кВ нельзя подходить к нему ближе 8 м. Нужно объяснить это местным жителям и, установив охрану из них, немедленно сообщить о месте обрыва в ближайший участок района электрических сетей. В ненаселенной местности надо снять с ближайших опор два–три предупредительных плаката и укрепить их на палках вокруг места обрыва.

Если для работы нужно снять напряжение с линии, то ее отключают с обеих сторон выключателями и разъединителями и заземляют при напряжении ВЛ более 1000 В во всех РУ и у секционирующих аппаратов, где эта ВЛ

отключена. На ВЛ напряжением до 1000 В заземление делают только на месте работ. На приводах разъединителей вывешивают плакаты «Не включать работа на линии». Заземление на месте работ не устанавливают, если голова монтера, работающего на опоре на высоте более 3 м от земли до подошвы ног, находится на расстоянии более 1 м от уровня нижних проводов на линиях напряжением 6...10 кВ или 2 м на линии 35 кВ и выше и если исключена возможность приближения к проводам инструментов и приспособлений ближе, чем на эти расстояния. При ведении работ ближе к проводам или соприкосновении с ними, но без их разрыва все три фазы заземляют не только по концам ВЛ, но также и на опоре, где работают. Если при работе провода разрезают, то заземления устанавливают по обе стороны от разрыва. На опоре, которая имеет заземляющий спуск, нижний конец заземления присоединяют к нему, а если не имеет – к металлическому заземлителю в виде бурава, завинченного в землю на глубину 0,6...1 м. На ВЛ напряжением до 1000 В с нулевым проводом заземляющий проводник присоединяют к этому проводу.

По наряду на линиях напряжением выше 1000 В выполняют все работы с отключением линий и те работы без снятия напряжения, которые связаны с подъемом на опору выше 3 м (от земли до ног) или прикосновением к проводам, тросам, изоляторам; заменой элементов опоры или откапыванием ее глубже чем на 0,5 м; применением грузоподъемных машин и механизмов в пределах охранной зоны линии, а также при вырубке деревьев на краю трассы, когда требуются меры для предотвращения падения деревьев на провода.

Запрещается выдавать разрешение на начало работ со снятием напряжения на еще не отключенной линии, заранее обусловив час, с которого линия будет готова к проведению работ. Производитель работ должен постоянно наблюдать за бригадой, поэтому участок ее работ должен быть не более 2км, а если производитель работ работает сам, то не более одного промежуточного пролета, чтобы вся бригада была в поле его зрения.

Работы без подъема на опору или с подъемом не выше 3 м от земли как на отключенных, так и неотключенных линиях выполняют по устному распоряжению, если не разбирают конструктивные элементы опоры (проверка степени загнивания приставок, подтяжка ослабевших бандажей, установка плакатов). Эти работы может выполнять одно лицо с квалификационной группой III, если требуется подъем на опору, или группой II, если не требуется. На линиях напряжением до 1000 В с группой II можно подниматься на опору на 3 м. Измерять сопротивление повторного заземления нулевого провода и грозозащитного заземления изоляторных крюков могут без отключения линии два человека с группами III в II, если есть болтовой разъем на заземляющем спуске. Причем разъединять его надо в диэлектрических перчатках.

Работы с подъемом на опору выше 3 м от земли, но за 1…2 м до уровня нижних проводов не требуют снятия с них напряжения. Это, например, замена приставок, распорок. Производитель таких работ должен иметь квалификацию не ниже группы IV за исключением работ, не требующих разборки частей опоры, когда можно иметь и группу III. Производитель работ мо-

жет принимать участие в работе бригады, если она сосредоточена на одной опоре и не применяют грузоподъемные машины или телескопические вышки.

Работы с подъемом до верха опоры ила на проводе без отключения линии: верховой осмотр опор, провода, грозозащитного троса, изоляторов и арматуры; их ремонт и замена; выправка опор; установка и снятие трубчатых разрядников; антисептическая обработка древесины верхней части опор, окраска верхней части опор и троса; работы с измерительными штангами. Такие работы без снятия напряжения разрешается выполнять с соблюдением особых правил. Укажем только важнейшие из них, касающиеся ВЛ напряжением до 1000 В. В этом случае без письменного распоряжения разрешается менять на деревянной опоре без заземляющего спуска перегоревшие пробки предохранителей или лампы и чистить арматуру светильников, если они расположены ниже фазных проводов. При этом необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками, а во время смены предохранителей еще и защитными очками. Работать следует, стоя на обоих когтях и прикрепившись поясом к опоре, или с деревянной лестницы вдвоем (второй поддерживает лестницу). Необходимо иметь в виду, что нулевой провод нужно располагать ниже фазных проводов. Если на тех же опорах расположены провода радиотрансляционной сети напряжением до 360 В, то замена предохранителей и ламп без отключения и заземления проводов радиотрансляционной сети недопустима.

Работы на опоре ВЛ напряжением до 1000 В или с телескопической вышки, не имеющей изолирующего звена, выполняют, соблюдая расстояние от работающего или его инструмента до провода, находящегося под напряжением (в том числе связи, радиофикации), не менее 0,6 м. Если это расстояние соблюсти невозможно, линию отключают и заземляют на месте работ. Бригада для работ на ВЛ напряжением до 1000 В с телескопической вышки должна состоять из трех человек, считая водителя. Один из членов бригады должен находиться внизу (но не под корзиной!), подавая команды водителю о подъеме и спуске корзины и не допуская посторонних. Производитель работ должен иметь квалификационную группу не ниже III, а лица, работающие на вышке, и водитель – группу II.

Если на заземляющем спуске у опоры ВЛ напряжением до 1000 В нет болтового разъема у основания опоры и необходимо отсоединить спуск от нулевого провода на время измерения сопротивления заземлителя, то отключение (и присоединение) нужно выполнять по наряду с отключением и заземлением линии. Однако допускается делать это под напряжением, установив изолирующее ограждение на фазных проводах с помощью изолирующей штанги.

Работы на ВЛ, которая отключена, но пересекает или проходит вблизи другой действующей ВЛ, т.е. может иметь на проводах и тросах наведенное напряжение, должны проводиться в случае прикосновения к проводам или тросам с заземлением их на каждой опоре, где работают. Какие ВЛ могут оказаться под наведенным напряжением, заранее определяют ИТР эксплуа-

тирующей ВЛ организации. Если опоры такой ВЛ железобетонные, то провода соединяют с ними для выравнивания потенциала, а если провод заменяют, то и старый и новый провода должны быть заземлены (на пересечениях с двух сторон), даже когда они лежат на земле. Разрезаемый провод в месте разреза нужно зашунтировать временным проводником. При использовании грузоподъемных машин, телескопических вышек в охранной зоне ВЛ, находящейся под напряжением, машины необходимо заземлять (кроме гусеничных).

5.9 Особенности требований электробезопасности в жилых и общественных зданиях

В сельских жилых и общественных домах большинство помещений имеет деревянные нетокопроводящие полы и их относят к помещениям без повышенной опасности. В них до 1998 г. допускалось не применять зануление при напряжении менее 380 В. Предохранители с плавкими вставками или однополюсные установочные автоматы часто включали как в фазном, так и в нулевом проводе двухпроводной сети для более надежной защиты от пожара из–за коротких замыканий. Однако менять лампы, очищать от пыли или чинить светильники и электропроводку надо при снятом напряжении. Поэтому важно, чтобы выключатели были установлены в фазном проводе. Кроме того, на металлический крюк для подвешивания незануленного светильника должна быть надета изоляционная трубка. Осветительная арматура в жилых помещениях должна быть подвешена на высоте не менее 2 м. При этих условиях в помещениях без повышенной опасности разрешается не занулять подвесные светильники.

Столовые и кухни относят к помещениям с повышенной опасностью поражения током, так как в них металлические трубопроводы связаны с землей и возможно случайное прикосновение одновременно к ним и к корпусам электрооборудования, оказавшимся под напряжением. Стационарные электроплиты следует занулять отдельным *PE*–проводником (пятым в случае трехфазных плит) или с помощью стальной трубы, в которой проложена электропроводка, причем этот проводник присоединяют к нулевой рабочей шине на распределительном или этажном щитке. Использование для этого нулевого рабочего *N*–проводника не допускается.

Все вновь строящиеся жилые, общественные и временные здания должны полностью соответствовать ПУЭ и ГОСТу. При капитальных ремонтах или реконструкциях старых зданий должны предусматривать зануление всех электроприемников класса защиты I, рассчитанных на номинальное напряжение выше 50 В, в том числе включаемых через штепсельные розетки, которые должны иметь защитный контакт, выполненный при однофазном питании, например, как у так называемых «евророзеток». Соответствующий контакт должен быть и у вилок, подключаемых к этим розеткам электроприемников. От защитного контакта розетки нулевой защитный проводник дол-

жен быть проложен до группового щитка. На линии розеток должно быть УЗО–Д с уставкой до 30 мА.

По ГОСТ Р 50571.11–96 «Раздел 701. «Ванные и душевые комнаты» пространство в этих комнатах подразделяют на зоны. Внутри ванной или душевого поддона – зона 0; над ними, включая края ванны или поддона, а если поддона нет, то на участке пола в радиусе 0,6 м от разбрызгивателя душа – зона 1; на расстоянии до 0,6 м от границ зоны 1 – зона 2, а далее зона 3.

В зонах 0, 1 и 2 нельзя устанавливать распределительные устройства, соединительные коробки и устройства управления, кроме выключателей, управляемых шнурком, – в зонах 1 и 2. В зоне 3 могут быть штепсельные розетки, подключенные или через индивидуальный разделительный трансформатор, или через УЗО–Д с током срабатывания до 30 мА, или к источнику питания системы БСНН или ЗСНН. В зоне 0 допускаются только электроприборы с защитой по системе БСНН или ЗСНН и номинальным напряжением до 12 В при условии установки источника питания за пределами зоны 0. В зоне 1 могут быть установлены только электрические водонагреватели, в зоне 2 – то же и светильники с двойной изоляцией. Все металлические корпуса электрооборудования и сторонние проводящие части в зонах 1, 2 и 3 и все защитные проводники присоединяют к системе уравнивания потенциалов. В частности, металлические поддоны и корпуса ванн должны быть соединены с водопроводными трубами. Для обогрева помещения в полу во всех зонах размещают нагревательные элементы, покрытые металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, присоединенной к системе уравнивания потенциалов. Уравнивание без заземления (на повторное заземление нулевого провода) не допускается. В зонах 0, 1, 2 может быть только электропроводка, предназначенная для питания расположенного там электрооборудования (нетранзитная). Все провода или кабели должны быть без металлической оболочки. Рекомендуется скрытая электропроводка, но допускается и открытая с защищенными проводами и кабелями (АНРГ, АППР, АВРГ) или изолированными проводами на роликах на высоте не менее 2,5 м (АПР, АПН).

В соответствии с указаниями по применению устройств защитного отключения в электроустановках жилых зданий следует обязательно применять УЗО–Д с током срабатывания до 30 мА на групповых линиях, питающих штепсельные розетки, особенно расположенные в ванных и душевых комнатах, если они там не присоединены к индивидуальному разделительному трансформатору или системе БСНН либо ЗСНН. Рекомендуется для ванных, душевых и санитарно-технических кабин применять УЗО–Д с током срабатывания до 10 мА, если для них выделена отдельная линия, а если к этой же линии присоединены кухня и коридор, то ток срабатывания должен быть 30мА.

В жилых зданиях применяют УЗО–Д только со встроенными в них или последовательно включенными с ними аппаратами защиты от сверхтоков коротких замыканий или перегрузок. УЗО–Д должно сохранять работоспособность при кратковременных (до 5 с) провалах напряжения до половины но-

минального. Как правило, в жилых зданиях используют УЗО–Д типа «А», т.е. реагирующее как на переменный, так и на пульсирующий ток повреждения. Источником последнего служат персональные ЭВМ, телевизоры, видеомагнитофоны и стиральные машины с регулируемой скоростью. Применение УЗО–Д типа «АС», реагирующего только на переменный ток, допускается в особых случаях.

Рекомендуют устанавливать УЗО–Д на квартирных и этажных щитках. Номинальные токи могут быть 16, 25, 32, 40 и 63 А, номинальные токи срабатывания (уставки) – 30, 100 и 300 мА. Последнюю уставку применяют для противопожарной безопасности. При установке УЗО–Д на одну групповую линию рекомендуют уставки с током 10 или 30 мА. Фактический ток срабатывания может составлять 50...100 % уставки. К УЗО–Д присоединяют одну или несколько групповых линий, причем на каждой из них должен быть свой автомат или предохранитель с плавкой вставкой. Присоединяя более одной линии, надо соблюдать требование, чтобы суммарный обычный ток утечки через их изоляцию составлял не более 1/3 номинального тока срабатывания УЗО–Д. Если данных о суммарном токе утечки нет, то можно ориентировочно принимать его из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, т.е. к УЗО–Д с уставкой 30 мА можно присоединить не больше линий, чем с суммарным током нагрузки 25 А.

Если нет зануления электроприемников, то к эффективным средствам повышения электробезопасности относят однофазные УЗО–Д. Они срабатывают при повреждении изоляции лишь после прикосновения человека к корпусу от тока через тело на «землю». Рекомендуется применять УЗО–Д, скомбинированные с многополюсным установочным автоматом, чтобы при срабатывании УЗО–Д отключались все рабочие проводники, включая нулевой; тогда не требуется его отдельная защита от сверхтоков.

Во вновь строящихся или капитально ремонтируемых зданиях УЗО–Д не должно быть единственным средством защиты от косвенного прикосновения. Нужно прокладывать нулевые защитные проводники, применять уравнивание потенциалов. Нулевые защитные и рабочие проводники после УЗО–Д прокладывают раздельно, а объединять их можно лишь до УЗО–Д по ходу энергии. УЗО–Д применяют для защиты от косвенного прикосновения, но при уставке до 30 мА оно обеспечивает высокий уровень защиты и в случае прямого контакта с токоведущими частями.

5.10 Особенности обеспечения электробезопасности передвижных электроустановок

Электроприемники передвижных электроустановок могут получать питание от стационарных или передвижных автономных источников. Передвижные электростанции чаще всего имеют заземленную нейтральную точку и напряжение 380/220 В, но встречаются и с изолированной нейтралью (сети 3 × 220 или 3 × 380 В). Защитные мероприятия для сетей передвижных стан-

ций с заземленной нейтралью: зануление, иногда с повторным заземлением нулевого провода, защитное отключение и сочетание его с занулением. Сопротивление заземляющего устройства передвижной станции должно быть таким же, что и стационарной.

При питании электроприемников передвижных установок от автономных источников с изолированной нейтралью применяют защитное заземление корпусов установки и источника электроэнергии или защитное отключение. Заземляющее устройство должно быть только у источника с соблюдением требований либо к его сопротивлению (не более 25 Ом), либо к напряжению прикосновения при однополюсном замыкании на корпус. Допускается не применять защитное заземление ни передвижных электроприемников, ни автономных источников питания с изолированной нейтралью в следующих случаях.

1 Если и приемники, и источник расположены на одной и той же передвижной установке, корпуса их связаны металлически и от источника не питаются другие электроприемники.

2 Если не более двух электроприемных передвижных установок питаются от специального источника, находящегося от них не далее чем в 50 м и не питающего другие электроприемники, при чем корпуса источника и питаемых им передвижных установок соединены металлическим проводником. Число питаемых установок и расстояние до передвижного источника с изолированной нейтралью (длина гибкого кабеля) могут не ограничиваться, когда значения напряжений прикосновения $U_{пр}$ при однополюсном замыкании на землю не превышают указанных далее значений в зависимости от длительности воздействия t.

t, с	0,05	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	3,0	> 3,0
$U_{пр}$, В	650	500	250	100	75	50	36	12

3 Если сопротивление заземляющего устройства, рассчитанного по напряжению прикосновения при однофазных замыканиях из корпус, выше, чем сопротивление рабочего заземления для устройства постоянного контроля сопротивления изоляции (защитно–отключающего). Таким устройством должны снабжаться все передвижные автономные источники питания с изолированной нейтралью.

В качестве проводника металлической связи между корпусом передвижной электрифицированной установки и корпусом источника можно применять дополнительную жилу в питающем кабеле, например пятую в четырехпроводной сети или четвертую в трехпроводной. В передвижных электроустановках с автономными передвижными источниками питания допускается наличие разъединяющих приспособлений в цепях всех проводников, включая связывающие корпуса источника и установок.

При срабатывании защитно–отключающих устройств питание должно отключаться до соединительного кабеля между источником питания и передвижной установкой.

Контрольные вопросы

1. Назовите классификацию электротехнического персонала предприятий?

2. Назовите виды инструктажей. Когда они применяются?

3. Кому и как присваивается I группа по электробезопасности?

4. Какие виды проверки знаний работников вы знаете?

5. Что такое наряд?

6. Как выполняется организация работ по распоряжению?

7. Перечислите технические мероприятия обеспечивающие безопасность работ в электроустановках?

8. Какие защитные средства применяются при работе в электроустановках?

9. Какие основные требования электробезопасности в животноводстве и при работах на ВЛ?

6 МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

6.1 Необходимость молниезащиты

Молниезащитой называется комплекс различного рода мероприятий и средств для их осуществления, обеспечивающих безопасность людей, сохранность зданий и сооружений, оборудования и материалов от прямых ударов молнии, электромагнитной и электростатической индукции, а также от заноса высоких потенциалов через металлические конструкции и коммуникации.

На земном шаре ежегодно происходит до 16 млн гроз, т. е. около 44 тыс. за день. При этом ожидаемое число поражений молнией в год зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой, можно определить по формуле

$$N = 10^{-6} \cdot n \cdot [(a + 6 \cdot h_x) \cdot (b + 6 \cdot h_x) - 7{,}7 \cdot h_x^2],$$

где n – среднее число поражений молнией 1 км^2 земной поверхности в год, зависящее от интенсивности грозовой деятельности, изменяющееся в пределах 2,5...7,5: для средней полосы России можно принять n = 5;

a, b – соответственно длина и ширина защищаемого здания или сооружения, м;

h_x – высота здания (сооружения) по его боковым сторонам, м.

Для дымовых труб котельных, водонапорных и силосных башен, мачт, деревьев и других объектов ожидаемое число ударов молнии в год определяют по формуле

$$N = 10^{-6} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot n,$$

где r – эквивалентный радиус, м: r = 3,5h;

h – высота объекта, м.

Прямой удар молнии очень опасен для людей, зданий и сооружений вследствие непосредственного контакта канала молнии с поражаемыми объектами. Убытки только от пожаров и взрывов, вызванных этим явлением, в ряде случаев колоссальные. Прямой удар молнии также может производить сильные механические разрушения, приводя в негодность чаще всего дымовые трубы, мачты, вышки, а иногда и стены зданий. Вместе с тем расчеты показывают, что затраты на осуществление молниезащитных мероприятий приблизительно в 1,5 раза меньше стоимости сгоревших за пять лет зданий и сооружений.

Существуют две основные разновидности молний: линейные и шаровые.

Линейная молния представляет собой разряд атмосферного электричества между облаками или между облаками и землей, происходящий за десятитысячные доли секунды, сопровождающийся громом и протеканием тока в десятки килоампер (в некоторых случаях до 500 кА). Путь молнии ветвистый, так как на ее пути встречаются участки воздуха с различными свой-

ствами, а разряд всегда выбирает путь наименьшего сопротивления. При приближении разряда к земной поверхности на его дальнейшее продвижение начинают влиять другие факторы. Чаще всего разряд устремляется к возвышенным местам рельефа земли (холмы и т. п.) или к высоким строениям (трубы, мачты и др.), где заряды противоположного знака (положительные) особенно велики.

На избирательность разряда влияет и электрическая проводимость грунта. Нередки случаи прямого попадания молнии в дно глубоких оврагов с влажной почвой, обладающей хорошей электропроводностью. Поэтому в холмистой местности наиболее безопасными считаются каменистые и песчаные склоны, так как большое электрическое сопротивление грунта в таких местах снижает вероятность попадания в них молнии. При нахождении человека во время грозы на равнинной местности ему не следует идти, стоять или располагаться вблизи деревьев. В этом случае безопаснее сесть на какой–нибудь камень. При ударе молнии в автомобиль или трактор люди обычно не страдают, потому что металлическая кабина отводит возникающие при разряде токи мимо них в землю. Не имеющее молниеотвода здание с неметаллической крышей не всегда обеспечивает полную безопасность, так как при ударе молнии в строения такого типа возможны разряды со стен и крыши внутри здания.

Шаровая молния встречается сравнительно редко, примерно в 300...500 раз реже линейной. Она имеет вид светящегося шара, иногда вытянутого в форме груши. Температура шаровой молнии 3000...5000 ºС, диаметр 10...20 см, а длительность существования от долей секунды до нескольких минут. Она способна перемещаться со скоростью до 2 м/с чаще всего по извилистому пути и в большинстве случаев в направлении ветра. При соприкосновении с шаровой молнией на теле человека возникают сильные ожоги, иногда приводящие к смерти.

Шаровая молния проникает в помещения через открытые окна, двери, дымоходы и даже через небольшие щели или замочные скважины, а иногда по электропроводке. После нескольких перемещений она может исчезнуть, но часто шаровая молния взрывается, что приводит к воспламенению сгораемых предметов, механическим разрушениям и в отдельных случаях к гибели людей.

Средства защиты от линейных молний часто неэффективны против шаровой. Поэтому рекомендуется дополнительно во время грозы закрывать все окна, двери, дымоходы и т. п., а вентиляционные решетки снабжать заземленными металлическими сетками, выполненными из проволоки диаметром 2...2,5 мм, с ячейками площадью 3...4 см^2.

6.2 Категории молниезащиты

В зависимости от значимости объекта, наличия и класса взрыво– и пожароопасных зон в производственных зданиях, а также от вероятности поражения молнией применяют (если требуется) одну из трех категорий мол-

ниезащиты.

Молниезащиту I категории используют для промышленных зданий со взрывоопасными зонами (помещениями) классов В–I и В–II.

Молниезащиту II категории выполняют для производственных объектов с зонами классов В–Iа, В–Iб и В–IIа при условии, что эти зоны занимают не менее 30 % всего здания (если оно одноэтажное) или объема верхнего этажа, а также для открытых электроустановок с зонами класса В–Iг. Молниезащита данной категории этих открытых установок обязательна на всей территории РФ, тогда как для зданий требуется только в районах с грозовой деятельностью не менее 10 ч в год. К объектам, защищаемым от молний по категории II, относятся мукомольные и комбикормовые заводы (цехи), аммиачные холодильники, склады, жидкого топлива и смазочных материалов, отдельно стоящие помещения по заряду и ремонту аккумуляторов, склады удобрений и пестицидов и т. д.

Молниезащита II категории обеспечивает защиту от прямого удара молнии, от заноса высоких потенциалов через надземные и подземные коммуникации, а также от электростатической и электромагнитной индукции (наведения потенциалов в незамкнутых металлических контурах при протекании импульсных токов молнии, создающих опасность возникновения искр в местах сближения этих контуров). Для защиты от электростатической индукции металлические корпуса и конструкции заземляют (зануляют), а от электромагнитной индукции применяют металлические перемычки между трубопроводами и аналогичными протяженными предметами (оболочками кабелей и др.) в местах их взаимного сближения на расстояние 10 см и менее не реже чем через каждые 25...30 м. При устройстве молниезащиты II категории воздушные вводы электрических линий, в том числе телефона и радио, заменяют кабельной вставкой длиной не менее 50 м. Металлическую оболочку кабелей на вводе в здание и на последней опоре соединяют с отдельными заземляющими устройствами, имеющими сопротивления растеканию импульсного тока молнии $R_{и} \leq 10$ Ом. Эстакадные трубопроводы заземляют аналогичным образом.

Молниезащиту III категории применяют при грозовой продолжительности 20 ч и более в год для наружных установок класса П–III, зданий III, IV степеней огнестойкости (детских садов, яслей, школ и т. д.); больниц, клубов и кинотеатров; вертикальных вытяжных труб котельных или промышленных предприятий, водонапорных и силосных башен при высоте более 15 м от земли. Если продолжительность гроз составляет 40 ч в год и более, то молниезащита данной категории требуется для животноводческих и птицеводческих зданий III...V степеней огнестойкости, а также для жилых домов при их высоте более 30 м в случае, если они расположены далее 400 м от общего массива.

Молниезащита III категории устраняет опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при прямом ударе молнии, а также предохраняет от заноса высоких потенциалов в здание через воздушные электрические ли-

нии и другие надземные металлические коммуникации, например трубопроводы. С этой целью коммуникации на вводе в здание и на ближайшей опоре присоединяют к заземлителям с сопротивлением растеканию импульсного тока молнии $R_и \le 20$ Ом. Емкости с топливными и смазочными материалами (кроме бензина), дымовые трубы и башни высотой более 15 м защищают по категории III при допустимой величине $R_и \le 50$ Ом.

Для зданий и сооружений, совмещающих в себе помещения, требующие устройства молниезащиты I и II или I и III категорий рекомендуется молниезащиту объекта в целом выполнять в соответствии с требованиями для I категории.

Невзрывоопасные помещения, выполненные из несгораемых материалов (в том числе перегородки, перекрытия, крыши), устройствами молниезащиты не оборудуют. Необходимость молниезащиты зернохранилищ, мастерских, гаражей, зерноочистительных агрегатов обосновывают с учетом ожидаемого числа ударов молнии в здание. Как правило, сооружение молниезащиты на этих объектах не требуется.

6.3 Типы и устройство молниеотводов

Здания и сооружения защищают от прямых ударов молнии различными по конструкции молниеотводами. Но любой из молниеотводов включает в себя четыре основные части: молниеприемник, непосредственно воспринимающий удар молнии; токоотвод, соединяющий молниеприемник с заземлителем; заземлитель, через который ток молнии стекает в землю; несущую часть (опору или опоры), предназначенную для закрепления молниеприемника и токоотвода.

В зависимости от конструкции молниеприемника различают стержневые, тросовые, сетчатые и комбинированные молниеотводы. По числу совместно действующих молниеприемников их делят на одиночные, двойные и многократные. Кроме того, по месту расположения молниеотводы бывают отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания.

Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. Благодаря этому свойству более низкое по высоте защищаемое здание практически не поражается молнией, если оно входит в зону защиты молниеотвода. Зоной защиты молниеотвода называется часть пространства, примыкающая к нему и с достаточной степенью надежности (не менее 95 %) обеспечивающая защиту сооружений от прямых ударов молнии.

Наиболее часто для защиты зданий и сооружений применяют стержневые молниеотводы. Молниеприемник стержневого молниеотвода представляет собой вертикально расположенный стальной стержень любого профиля длиной 2... 15 м и площадью поперечного сечения не менее 100 мм^2, укрепленный на опоре, расположенной, как правило, не ближе 5 м от защи-

щаемого объекта. Молниеприемник соединяют с заземлителем токоотводом, выполненным из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм, а в случае прокладки токоотвода в земле – не менее 10 мм. При устройстве молниеприемников непосредственно на крыше здания выполняют как минимум два токоотвода, а при ширине крыши более 12 м – четыре. Если длина защищаемого объекта более 20 м, то на каждые последующие 20 м длины требуется устанавливать дополнительные токоотводы; при ширине здания до 12 м – на обеих сторонах здания. Все соединения (молниеприемник – токоотвод, токоотвод – заземлитель) следует сваривать. В качестве стержневых молниеотводов необходимо максимально использовать существующие вблизи защищаемого объекта высокие сооружения: водонапорные башни, вытяжные трубы и т. п. Деревья, растущие на расстоянии не более 5 м от зданий III...V степеней огнестойкости, также можно использовать в качестве опоры молниеотвода, если на стене здания напротив дерева на всю высоту стены проложить токоотвод, приварив его к заземлителю молниеотвода.

Тросовые молниеотводы чаще всего применяют для защиты зданий большой длины и высоковольтных линий. Эти молниеотводы изготовляют в виде горизонтальных тросов, закрепленных на опорах, по каждой из которых прокладывают токоотвод. Молниеприемники тросовых молниеотводов выполняют из стального многопроволочного оцинкованного троса сечением не менее 35 мм^2.

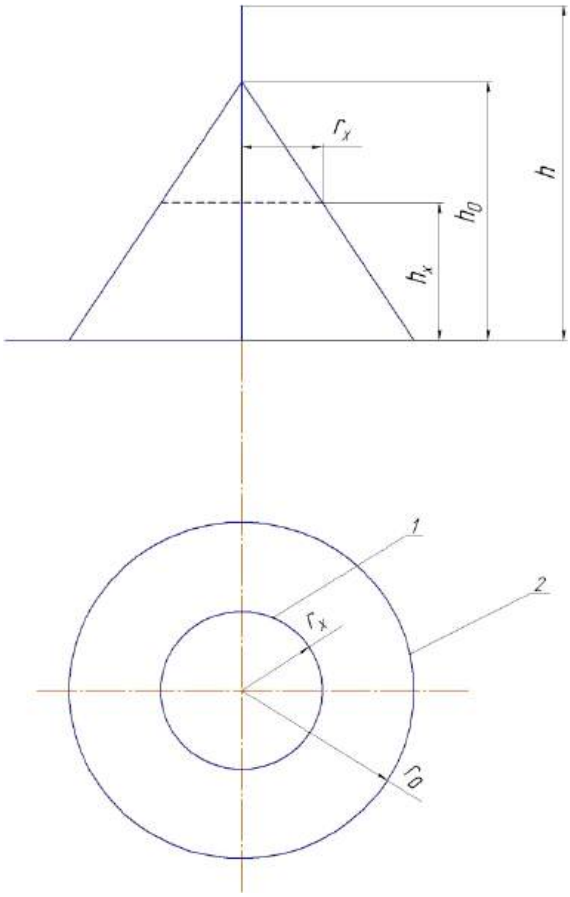
Следует отметить, что стержневые и тросовые молниеотводы обеспечивают одинаковую степень надежности защиты.

В качестве молниеприемников можно использовать металлическую крышу, заземленную по углам и по периметру не реже чем через каждые 25 м, или наложенную на неметаллическую крышу сетку из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм, имеющую площадь ячеек до 150 мм^2, с узлами, закрепленными сваркой, и заземленную так же, как металлическая крыша. К сетке или токопроводящей кровле присоединяют металлические колпаки над дымовыми и вентиляционными трубами, а в случае отсутствия колпаков – специально наложенные на трубы проволочные кольца.

6.4 Типовые расчеты молниеотводов

Тип молниеотвода (одиночный, двойной и многократный стержневой, одиночный и двойной тросовый) выбирают в зависимости от конструкции зданий и сооружений, их размеров, формы и взаимного расположения. Сельскохозяйственные объекты различаются разнообразием форм и размеров. Среди многоэтажных объектов можно выделить элеваторы и зерноперерабатывающие комплексы. В остальном здания и сооружения невысокие преимущественно одноэтажные. При проектировании устройств молниезащиты сельскохозяйственных объектов необходимо обращать внимание на то, что в основном здания и сооружения располагаются рядом, образуя комплекс преимущественно квадратной формы, поэтому целесообразно рассматривать

молниезащиту всего комплекса целиком. Также стоит отметить что, имеются и протяженные объекты – животноводческие и птицеводческие фермы со своей спецификой построения молниезащиты.



1 – граница зоны защиты на уровне h_x, 2 – то же на уровне земли

Рисунок 6.1 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м

Зона защиты молниеотвода представляет собой часть пространства, примыкающего к молниеотводу, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Различают зоны защиты двух типов: А – со степенью надежности 99,5 % и выше; Б – со степенью надежности 95 % и выше. Для объектов сельскохозяйственного назначения, как правило, требуется зона Б.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой $h \le 150$ *м* (рисунок 6.1) представляет собой конус, вершина которого находится на высоте $h_0 < h$, а основание образует круг радиусом r_x. Для зоны типа А эти размеры определяют по формулам

Для зоны типа А

$$h_0 = 0{,}85 \cdot h;$$
$$r_0 = (1{,}1 - 0{,}002 \cdot h) \cdot h;$$
$$r_x = (1{,}1 - 0{,}002 \cdot h) \cdot (h - h_x / 0{,}85),$$

для зоны типа Б

$$h_0 = 0{,}92 \cdot h;$$
$$r_0 = 1{,}5 \cdot h;$$
$$r_x = 1{,}5 \cdot (h - h_x / 0{,}92).$$

Одиночный молниеотвод, как правило устанавливается по центру здания. Поэтому для облегчения нахождения минимальной величины r_x можно воспользоваться формулой

$$r_{x\min} = 0{,}5 \cdot \sqrt{a^2 + в^2},$$

где a и $в$ – соответственно длина и ширина здания, м.

Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой не более 150 м при расстоянии между единичными молниеотводами L изображена на рисунке 6.2. Два стержневых молниеотвода образуют слившуюся зону защиты при $L \le 5 \cdot h$. В ней величины h_0, r_0 и r_x определяют так же, как для одиночного молниеотвода, а внутренние области зон защиты двойного стержневого молниеотвода имеют следующие габаритные размеры.

Для зоны типа А:
при $l \le h$

$$h_c = h_0 - \left(0{,}17 + 3 \cdot 10^{-4} h\right)(L - h);$$
$$r_c = r_0;$$
$$r_{cx} = r_0\left(h_c - h_x\right) / h_c;$$

при $h < l \le 5 \cdot h$

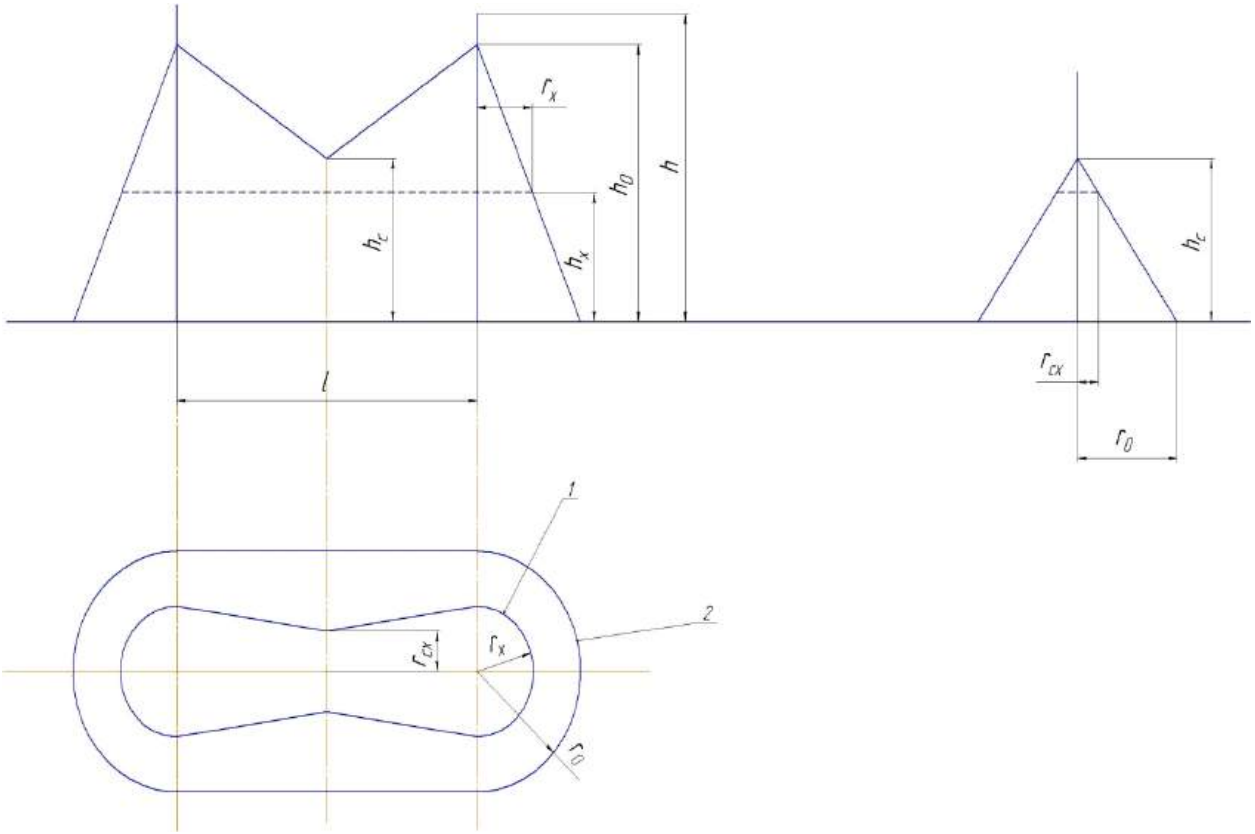
$$h_c = h_0 - \left(0{,}17 + 3 \cdot 10^{-4} h\right)(L - h);$$
$$r_c = r_0\left[1 - \frac{0{,}2(L - 2h)}{h}\right];$$
$$r_{cx} = r_c\left(h_c - h_x\right) / h_c.$$

Для зоны типа Б:
при $l \le 1{,}5 \cdot h$

$$h_c = h_0;$$
$$r_c = r_0; \quad ;$$
$$r_{cx} = r_x$$

при $1{,}5 \cdot h < l \le 5 \cdot h$

$$h_c = h_0 - 0{,}14 \cdot (l - h);$$
$$r_c = r_0;$$
$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x / h_c)$$



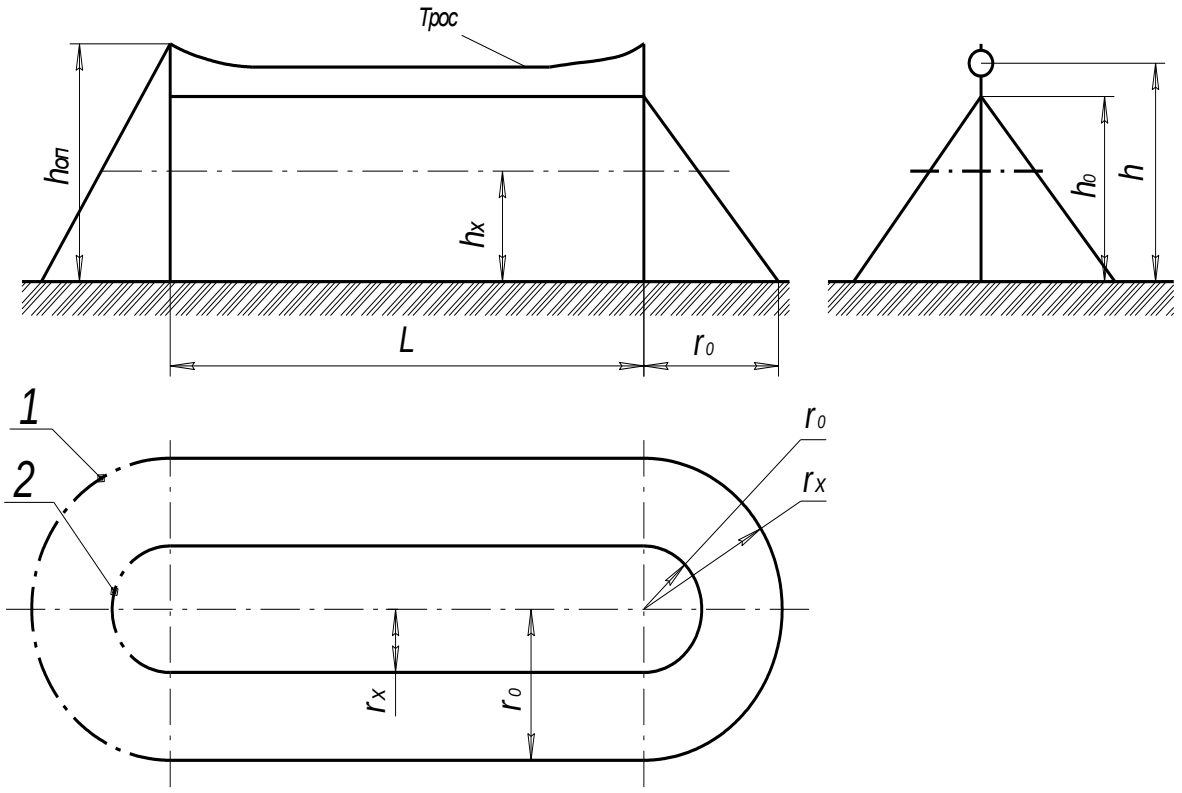
1 – граница зоны защиты на высоте h_x; 2 – граница зоны защиты на уровне земли

Рисунок 6.2 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой до 150 м

При установке молниеотводов на крыше здания можно также определить минимальную величину r_x по формуле

$$r_{x\min} = 0{,}5 \cdot \sqrt{(a-l)^2 + в^2}.$$

При расстоянии между стержневыми молниеотводами $l > 5h$ для построения зоны Б молниеотводы следует рассматривать как одиночные.



1 – граница зоны защиты на уровне земли; 2 – граница зоны защиты на уровне h_x

Рисунок 6.3 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой до 150 м

Если расстояние между стержневыми молниеотводами $L > 5 \cdot h$, то их совместное защитное действие нарушается ($h_0 = 0$), поэтому их следует рассматривать как одиночные.

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой $h \le 150\ м$ при расстоянии L между опорами приведена на рисунке 6.3. Принимают, что верхняя часть зоны защиты ограничена горизонтальной прямой, проведенной через точку максимального прогиба троса. Торцовые части зоны защиты аналогичны торцовым частям двойного стержневого молниеотвода.

Размеры зоны защиты одиночного тросового молниеотвода высотой $h \le 150\ м$ рассчитывают по формулам

для зоны типа А

$$h_0 = 0{,}85 \cdot h;$$
$$r_0 = (1{,}35 - 0{,}0025 \cdot h) \cdot h;$$
$$r_x = (1{,}35 - 0{,}0025 \cdot h) \cdot (h - h_x / 0{,}85);$$

для зоны типа Б

$$h_0 = 0{,}92 \cdot h;$$
$$r_0 = 1{,}7 \cdot h;$$
$$r_x = 1{,}7 \cdot (h - h_x / 0{,}92)$$

При известных h_x и r_x высота одиночного тросового молниеотвода для зоны типа Б

$$h = (r_x + 1{,}85 \cdot h_x)/1{,}7 .$$

Высоту опор h_{on} выбирают с учетом стрелы прогиба. Для стального троса сечением *35...50 мм*^{2} стрела прогиба составляет *2 м* при расстоянии между опорами *L < 120 м* и *3 м* при $120\ м \le L \le 150\ м$. Высоту опор получают сложением расчетной высоты молниеотвода h и принятой стрелы прогиба. Следовательно, при $L < 120\ м$ высота опор $h_{on} = h + 2\ м$, при *L = 120...150 м* $h_{on} = h + 3\ м$.

6.5 Молниеприемники, токоотводы и заземлители молниезащиты

Токи молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле.

Молниезащитная система в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. В случае специального изготовления их материал и сечения должны удовлетворять требованиям таблицы 6.1. Также, минимально допустимые сечения (диаметры) электродов искусственных заземлителей можно определить по таблице 6.2.

Таблица 6.1 – Материал и минимальные сечения элементов молниезащитной системы

Материал	Сечение, мм^2		
	молниеприемника	токоотвода	заземлителя
Сталь	50	50	80
Алюминий	70	25	Не применяется
Медь	35	16	50

Примечание. Указанные значения могут быть увеличены в зависимости от повышенной коррозии или механических воздействий.

В качестве заземлителей молниезащиты допускается использовать по рекомендации ПУЭ заземлители электроустановок и средств связи. Если эти заземлители разделяются по каким либо технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов.

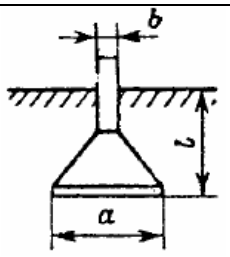
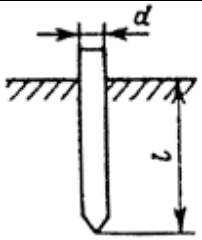
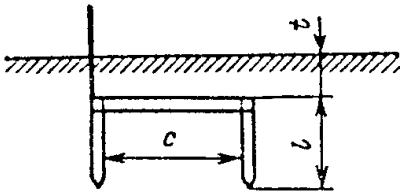
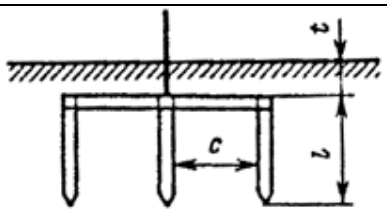
В настоящее время во всех возможных случаях в качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии следует использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений и только при невозможности их использования выполняют искусственные заземлители.

Каждый токоотвод от стержневых и тросовых молниеприёмников должен быть присоединен к заземлителю, состоящему минимум из двух вертикальных электродов длиной не менее 3м и объединённых горизонталь-

ным электродом длиной не менее 5м.

При использовании в качестве молниеприёмников сетки или металлической кровли по периметру здания в земле на глубине не менее 0,5 м должен быть проложен наружный контур, состоящий из горизонтальных электродов.

Таблица 6.2 – Минимально допустимые размеры заземлителей молниезащиты

Заземлитель	Эскиз	Размеры, м
Железобетонный подножник		$a \geq 1{,}8$ $b \geq 0{,}4$ $l \geq 2{,}2$
Железобетонная свая		$d = 0{,}25 – 0{,}4$ $l \geq 5$
Стальной двухстержневой: полоса размером 40 х 4 мм стержни диаметром d = 10 – 20 мм		$t \geq 0{,}5$ $l = 3 – 5$ $c = 3 – 5$
Стальной трехстержисвой: полоса размером 40 х 4 мм стержни диаметром d= 10÷20 мм		$t \geq 0{,}5$ $l = 3 – 5$ $c = 5 – 6$

Нормирование параметров заземлителей по их типовым конструкциям и сечениям электродов имеет ряд достоинств: оно соответствует принятой в строительной практике унификации железобетонных фундаментов с учётом их повсеместного использования в качестве естественных заземлителей; при выборе молниезащиты не требуется в этом случае выполнять расчёты импульсных сопротивлений

6.6 Защита от статического электричества

Статическое электричество (согласно ГОСТ 12.1.018)— это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности (или в объеме) диэлектриков или на изолированных проводниках.

Возникновение зарядов статического электричества. Заряды статического электричества образуются при самых разнообразных производственных условиях, но чаще всего при трении одного диэлектрика о другой или диэлектриков о металлы. На трущихся поверхностях могут накапливаться электрические заряды, легко стекающие в землю, если физическое тело является проводником электричества и заземлено. На диэлектриках электрические заряды удерживаются продолжительное время, вследствие чего они и получили название статического электричества.

Статическое электричество возникает в результате сложных процессов, связанных с перераспределением электронов и ионов при соприкосновении двух поверхностей неоднородных жидких или твердых веществ, имеющих различные атомные и молекулярные силы поверхностного притяжения.

Мерой электризации является заряд, которым обладает данное вещество. Интенсивность образования зарядов возрастает с увеличением скорости перемещения материалов, их удельного сопротивления, площади контакта и усилия взаимодействия. Степень электризации заряженного тела характеризует его потенциал относительно земли.

В производстве накопление зарядов статического электричества часто наблюдается при: трении приводных ремней о шкивы или транспортерных лент о валы, особенно с пробуксовкой; перекачке огнеопасных жидкостей по трубопроводам и наливе нефтепродуктов в емкости; движении пыли по воздуховодам; дроблении, перемешивании и просеивании сухих материалов и веществ; сжатии двух разнородных материалов, один из которых диэлектрик; механической обработке пластмасс; транспортировании сжатых и сжиженных газов по трубам и истечении их через отверстия, особенно если в газах содержится тонко распыленная жидкость, суспензия или пыль; движении автотранспортера, тележек на резиновых шинах и людей по сухому изолирующему покрытию и т. д.

Сила тока электризации потока нефтепродуктов в трубопроводах зависит от диэлектрических свойств и кинематической вязкости жидкости, скорости потока, диаметра трубопровода и его длины, материала трубопровода, шероховатости и состояния его внутренних стенок, температуры жидкости. При турбулентном потоке в длинных трубопроводах сила тока пропорциональна скорости движения жидкости и диаметру трубопровода. Степень электризации движущихся диэлектрических лент (например, транспортерных) зависит от физико–химических свойств соприкасающихся материалов, плотности их контакта, скорости движения, относительной влажности и т. д.

Опасность разрядов статического электричества. Искровые раз-

ряды статического электричества представляют собой большую пожаро– и взрывоопасность. Их энергия может достигать 1,4 Дж, что вполне достаточно для воспламенения паро–, пыле– и газовоздушных смесей большинства горючих веществ. Например, минимальная энергия воспламенения паров ацетона составляет $0{,}25 \cdot 10^{-3}$ Дж, метана $0{,}28 \cdot 10^{-3}$, оксида углерода $8 \cdot 10^{-3}$, древесной муки 0,02, угля 0,04 Дж. Поэтому в соответствии с ГОСТ 12.1.018 электростатическая безопасность объекта считается достигнутой только в том случае, если максимальная энергия разрядов, которые могут возникнуть внутри объекта или с его поверхности, не превышает 40 % минимальной энергии зажигания веществ и материалов.

Электростатический заряд, возникающий при выполнении некоторых производственных процессов, может достигать нескольких тысяч вольт. Например, при трении частиц песка и пыли о днище кузова при движении автомобиля генерируется потенциал до 3 кВ; при перекачке бензина по трубопроводу – до 3,6 кВ; при наливании электризующихся жидкостей (этилового спирта, бензина, бензола, этилового эфира и др.) в незаземленные резервуары в случае свободного падения струи жидкости в наполняемый сосуд и большой скорости истечения – до 17...20кВ; при трении ленты транспортера о вал – до 45 кВ; при трении трансмиссионных ремней о шкивы – до 80 кВ.

При этом следует иметь в виду, что для взрыва паров бензина достаточно потенциала 300 В; при разности потенциалов 3 кВ воспламеняются горючие газы, а 5 кВ – большинство горючих пылей.

Статическое электричество может накапливаться и на теле человека при ношении одежды из шерсти или искусственного волокна, движении по токонепроводящему покрытию пола или в диэлектрической обуви, соприкосновении с диэлектриками, достигая в отдельных случаях потенциала 7 кВ и более. Количество накопившегося на людях электричества может быть вполне достаточным для искрового разряда при контакте с заземленным предметом. Физиологическое действие статического электричества зависит от освободившейся при разряде энергии и может ощущаться в виде слабых, умеренных или сильных уколов, а в некоторых ситуациях – в виде легких, средних и даже острых судорог. Так как сила тока разряда статического электричества ничтожно мала, то в большинстве случаев такое воздействие неопасно. Однако возникающие при этом явлении рефлекторные движения человека могут привести к тяжелым травмам вследствие падения с высоты, захвата спецодежды или отдельных частей тела неогражденными подвижными частями машин и механизмов и т. п.

Статическое электричество может также нарушать нормальное течение технологических процессов, создавать помехи в работе электронных приборов автоматики и телемеханики, средств радиосвязи.

Мероприятия по защите от статического электричества проводят во взрыво– и пожароопасных помещениях и зонах открытых установок, относящихся к классам В–I, В–Iб, В–II и В–IIа. В помещениях и зонах, которые не относятся к указанным классам, защиту осуществляют на тех участках

производства, где статическое электричество отрицательно влияет на нормальное протекание технологического процесса и качество продукции.

Меры защиты от статического электричества направлены на предупреждение возникновения и накопления зарядов статического электричества, создание условий рассеивания зарядов и устранение опасности их вредного воздействия.

Предотвращение накопления зарядов статического электричества достигается заземлением оборудования и коммуникаций, на которых они могут появиться, причем каждую систему взаимосвязанных машин, оборудования и конструкций, выполненных из металла (пневмосушилки, смесители, газовые и воздушные компрессоры, мельницы, закрытые транспортеры, устройства для налива и слива жидкостей с низкой электропроводностью и т. п.), заземляют не менее чем в двух местах. Трубопроводы, расположенные параллельно на расстоянии до 10 см, соединяют между собой металлическими перемычками через каждые 25 м. Все передвижные емкости, временно находящиеся под наливом или сливом сжиженных горючих газов и пожароопасных жидкостей, на время заполнения присоединяют к заземлителю. Автозаправщики и автомобильные цистерны заземляют металлической цепью, соблюдая длину касания земли не менее 200 мм.

Снижение интенсивности возникновения зарядов статического электричества достигается соответствующим подбором скорости движения веществ, исключением разбрызгивания, дробления и распыления веществ, отводом электростатического заряда, подбором поверхностей трения, очисткой горючих газов и жидкостей от примесей. Безопасные скорости транспортировки жидких и пылевидных веществ зависят от их удельного объемного электрического сопротивления ρ_v. Так, для жидкостей с $\rho_v \le 10^5$ Ом·м допустимая скорость должна быть не более 10 м/с, при 10^5 Ом·м $< \rho_v \le 10^9$ Ом·м – до 5 м/с, а при $\rho_v > 10^9$ Ом·м скорости устанавливают для каждой жидкости отдельно, но, как правило, не более 1,2 м/с. При подаче жидкостей в резервуары необходимо исключить их разбрызгивание, распыление и бурное перемешивание. Наливную трубку необходимо удлинить до дна сосуда с направлением струи вдоль его стенки. При первоначальном заполнении резервуаров жидкость подают со скоростью, не превышающей 0,5...0,7 м/с.

Лучший способ снижения интенсивности накопления зарядов статического электричества в ременных передачах — увеличение электропроводимости ремней, например, с помощью прошивки внутренней поверхности ремня тонкой медной проволокой в продольном направлении или смазыванием его внутренней поверхности токопроводящими составами (содержащими, например, сажу и графит в соотношении 1:2,5 по массе и др.). Следует также уделять внимание регулировке натяжения ремней и по возможности снижению скорости их движения до 5 м/с.

Если предотвратить накопление зарядов статического электричества заземлением не удается, то следует принять меры по уменьшению объемных

и поверхностных диэлектрических сопротивлений обрабатываемых материалов. Это достигается повышением относительной влажности воздуха до 65...70 %, химической обработкой поверхности, применением антистатических веществ, нанесением электропроводных пленок, уменьшением скорости перемещения заряжающихся материалов, увеличением чистоты обработки трущихся поверхностей и т. д.

При невозможности использования средств защиты от статического электричества рекомендуется нейтрализовать заряды ионизацией воздуха в местах их возникновения или накопления. Для этого используют специальные приборы – ионизаторы, создающие вокруг наэлектризованного объекта положительные и отрицательные ионы. Ионы, имеющие заряд, противоположный заряду диэлектрика, притягиваются к объекту и нейтрализуют его.

Для отвода статического электричества с тела человека предусматривают токопроводящие полы или заземленные зоны, рабочие площадки, поручни лестниц, рукоятки приборов и т.д.; обеспечивают работающих токопроводящей обувью с сопротивлением подошвы не более 10^8 Ом, а также антистатической спецодеждой.

Контрольные вопросы

1. Что вы понимаете под молниезащитой?
2. Какие существуют разновидности молний?
3. Какие существуют категории молниезащиты?
4. На чем основано защитное действие молниеотводов?
5. Какие существуют типы молниеотводов?
6. В чем заключается принцип расчета молниеотводов?
7. Что такое статическое электричество и в чем его опасность?
8. Какие существуют мероприятия по защите от статического электричества?

7 ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Первая помощь при поражении электрическим током состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему доврачебной медицинской помощи.

Первым действием для освобождения пострадавшего от тока должно быть быстрое отключение той части электроустановки, которой он касается.

При невозможности быстрого отключения установки (например, из-за удаленности или недоступности выключателя и т. п.) необходимо принять иные меры освобождения пострадавшего от действия тока.

При напряжении до 1000 В в некоторых случаях можно перерубить провода топором с деревянной рукояткой или перекусить их инструментом с изолированными рукоятками - кусачками, пассатижами и т. п.

Можно оттянуть пострадавшего от токоведущих частей, взявшись за его одежду, если она сухая и отстает от его тела (полы пиджака, пальто). Рекомендуется действовать одной рукой, держа вторую руку в кармане или за спиной.

Можно отбросить провод, которого касается пострадавший, пользуясь сухой деревянной палкой, доской и другими, не проводящими электрический ток предметами.

Первая медицинская помощь пострадавшему от электрического тока оказывается немедленно после освобождения его от действия тока здесь же, на месте. Переносить пострадавшего в другое место можно только в тех случаях, когда опасность продолжает угрожать пострадавшему или оказывающему помощь или при наличии крайне неблагоприятных условий (темнота, дождь, теснота и т. д.).

Меры первой доврачебной медицинской помощи пострадавшему от электрического тока зависят от его состояния. Для определения состояния пострадавшего необходимо уложить его на спину и проверить наличие дыхания и пульса.

Наличие дыхания у пострадавшего определяется на глаз по подъему и опусканию грудной клетки во время самостоятельного вдоха и выдоха пострадавшего.

Наличие пульса проверяют на руке, на лучевой артерии примерно у основания большого пальца.

Проверка состояния пострадавшего, включая придание его телу соответствующего положения, проверку дыхания, пульса и состояния зрачка, должна производиться быстро – в течение не более 15–20 с.

Если пострадавший в сознании, но до этого был в обмороке или продолжительное время находился под током, необходимо его удобно уложить на сухую подстилку, накрыть сверху чем-либо из одежды, удалить из помещения лишних людей и до прибытия врача обеспечить пострадавшему полный покой, непрерывно следя за его дыханием и пульсом.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимися устойчивыми дыханием и пульсом, его следует удобно уложить на подстилку, расстегнуть одежду и пояс с тем, чтобы они не затрудняли его дыхания, обеспечить приток свежего воздуха и принять меры к приведению его в сознание – поднести к носу вату, смоченную в нашатырном спирте, обрызгать лицо холодной водой, растереть и согреть тело. Пострадавшему следует обеспечить полный покой, удалив посторонних людей из помещения, и непрерывное наблюдение за его состоянием до прибытия врача.

Если пострадавший плохо дышит – редко, судорожно, как бы с всхлипыванием, или если дыхание пострадавшего постепенно ухудшается, в то время как во всех этих случаях продолжается нормальная работа сердца, необходимо делать искусственное дыхание.

При отсутствии признаков жизни, т. е. когда у пострадавшего отсутствуют дыхание, сердцебиение и пульс, а болевые раздражения не вызывают никаких реакций, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет, надо считать пострадавшего в состоянии клинической смерти и немедленно присуноктупать к его оживлению, т. е. к искусственному дыханию и массажу сердца.

Опыт показывает, что своевременное и правильное оказание медицинской помощи человеку, находящемуся в состоянии клинической смерти, как правило, приводит к положительному результату – оживлению мнимоумершего. Попытки оживления эффективны, когда с момента остановки сердца прошло не более 4–5 мин. Зарегистрировано много случаев оживления людей, пораженных током, после 3–4 ч, а в отдельных случаях после 10–12 ч, в течение которых непрерывно выполнялись искусственное дыхание и массаж сердца. Часто оживление людей, пораженных электрическим током, достигается в результате своевременной и квалифицированной доврачебной помощи товарищем по работе или другим свидетелем поражения током.

Решение о бесполезности дальнейших мероприятий по оживлению человека, находящегося в состоянии клинической смерти, и заключение о его истинной (биологической) смерти имеет право вынести только врач.

Назначение искусственного дыхания – обеспечить газообмен в организме, т. е. насыщение крови пострадавшего кислородом и удаление из крови углекислого газа. Искусственное дыхание, воздействуя рефлекторно на дыхательные центры мозга, способствует восстановлению самостоятельного дыхания пострадавшего.

Способы искусственного дыхания делятся на две группы: *аппаратные и ручные.*

Аппаратные способы требуют применения специальных приборов, которые обеспечивают вдувание и удаление воздуха из легких через резиновую трубку, вставленную в дыхательные пути, или через маску, надетую на лицо пострадавшего.

Ручные способы значительно менее эффективны и более трудоемки, чем аппаратные, однако они могут выполняться без каких-либо присунокпособлений и приборов, т. е. немедленно при возникновении нарушений деятельности дыхания у пострадавшего.

Наиболее эффективным является способ изо рта в рот, заключающийся в том, что оказывающий помощь вдувает воздух из своих легких в легкие пострадавшего через его рот или нос.

Установлено, что воздух, выдыхаемый из легких, содержит достаточное для дыхания количество кислорода.

Этот способ наиболее эффективен из других ручных способов, так как объем вдуваемого воздуха достигает 1000–1500 мл. Этот объем вполне достаточен для целей искусственного дыхания. Сам метод прост, и им может овладеть любой человек, даже не имеющий медицинского образования. При этом способе исключена опасность повреждения органов пострадавшего; этот способ позволяет легко контролировать поступление воздуха в легкие – по расширению грудной клетки.

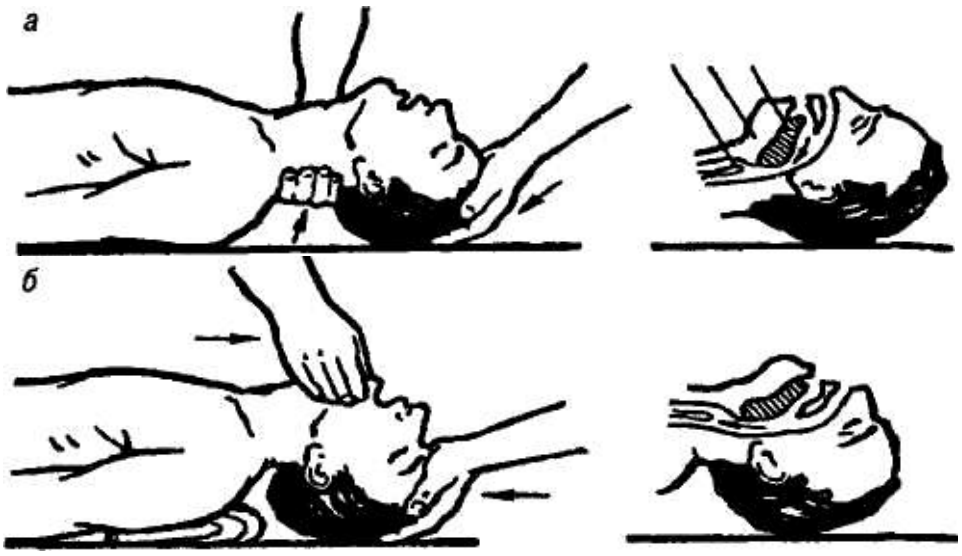
Недостатком способа является то, что он может вызвать взаимное инфицирование (заражение) и чувство брезгливости у оказывающего помощь. Поэтому вдувание воздуха проводят через марлю, носовой платок и другую неплотную ткань, а также через специальную трубку.

Подготовка к искусственному дыханию. Прежде чем присуноктупить к искусственному дыханию, необходимо быстро выполнить следующие операции (рисунок 7.1): а) освободить пострадавшего от стесняющей дыхание одежды, расстегнуть ворот, развязать галстук, расстегнуть пояс и т. п.; б) уложить пострадавшего на спину на горизонтальную поверхность стол или пол; в) максимально запрокинуть голову пострадавшего назад, положив под затылок ладонь одной руки, а второй рукой надавливать на лоб пострадавшего до тех пор, пока подбородок его не окажется на одной линии с шеей. При этом положении головы язык отходит от входа в гортань, обеспечивая тем самым свободный проход для воздуха в легкие. При таком положении головы обычно рот раскрывается. Для сохранения достигнутого положения головы под лопатки следует положить валик из свернутой одежды; г) пальцами обследовать полость рта; и если в нем обнаружится инородное содержимое (кровь, слизь и т. п.), необходимо удалить его, вынув одновременно зубные протезы, если они имеются (рисунок 7.2).

Для удаления слизи и крови необходимо голову и плечи пострадавшего повернуть в сторону (можно подвести свое колено под плечи пострадавшего), а затем с помощью носового платка или края рубашки, намотанного на указательный палец, очистить полость рта и глотки. После этого необходимо придать голове первоначальное положение и максимально запрокинуть ее назад.

Выполнение искусственного дыхания. По окончании подготовительных операций оказывающий помощь делает глубокий вдох и затем с силой выдыхает воздух в рот пострадавшего. При этом он должен охватить своим ртом весь рот пострадавшего (рисунок 7.3), а своей щекой или паль-

цами зажать ему нос.

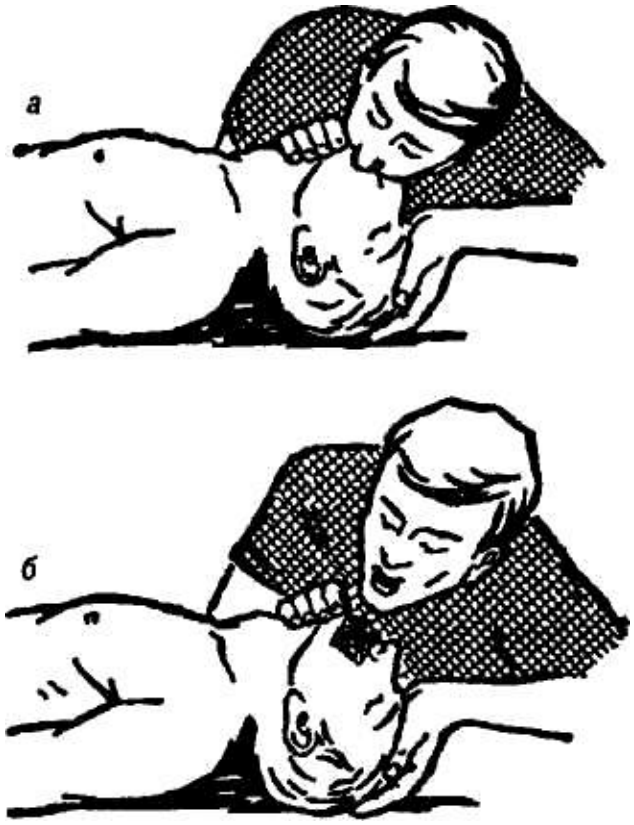


а – начальное положение головы: вход в гортань 1 перекрыт надгортанником 2 и запавшим языком 3; б – положение головы, при котором начинают искусственное дыхание: голова запрокинута назад, нижняя челюсть выдвинута вперед (надгортанник приподнялся и язык отошел от входа в гортань, благодаря чему обеспечен свободный проход воздуха в нее)

Рисунок 7.1 – Положение головы пострадавшего перед проведением искусственного дыхания по способу «изо рта в рот»



Рисунок 7.2 – Очищение полости рта и глотки от слизи, крови и т. п.



а – вдох; б – выдох

Рисунок 7.3 – Выполнение искусственного дыхания по способу «изо рта в рот»

Затем оказывающий помощь откидывается назад, освобождая рот и нос пострадавшего, и делает новый вдох. В это период грудная клетка пострадавшего опускается, и происходит пассивный выдох.

Маленьким детям вдувание воздуха может производиться одновременно в рот и нос, при этом оказывающий помощь должен охватить своим ртом рот и нос пострадавшего.

Контроль за поступлением воздуха в легкие пострадавшего осуществляется на глаз по расширению грудной клетки при каждом вдувании. Если после вдувания воздуха грудная клетка пострадавшего не расправляется, это свидетельствует о непроходимости дыхательных путей. В этом случае необходимо выдвинуть нижнюю челюсть пострадавшего вперед. Для этого оказывающий помощь должен поставить четыре пальца каждой руки позади углов нижней челюсти и, упираясь большими пальцами в ее край, выдвинуть нижнюю челюсть вперед так, чтобы нижние зубы стояли впереди верхних (рисунок 7.4). Легче выдвинуть нижнюю челюсть введенным в рот большим пальцем (рисунок 7.5).

Наилучшая проходимость дыхательных путей пострадавшего обеспечивается при наличии трех условий: максимальном огибании головы назад, открытии рта, выдвижении вперед нижней челюсти.

Иногда оказывается невозможным открыть рот пострадавшего вследствие судорожного сжатия челюстей. В этом случае искусственное дыхание

следует проводить по способу *изо рта в нос*, закрывая рот пострадавшего при вдувании воздуха в нос.



Рисунок 7.4 – Выдвижение нижней челюсти двумя руками



а – вид сбоку, б – вид сверху

Рисунок 7.5 – Выдвижение нижней челюсти одной рукой

В одну минуту следует делать 10–12 вдуваний взрослому человеку (т. е. через 5–6 с) и 15–18 вдуваний ребенку (т. е. через 3–4 с), причем ребенку вдувание делается менее резко.

При появлении у пострадавшего первых слабых вдохов следует приурочивать искусственный вдох к началу самостоятельного вдоха.

Искусственное дыхание следует проводить до восстановления глубокого ритмичного дыхания.

Массаж сердца. При оказании помощи пораженным током проводится так называемый *непрямой или наружный массаж сердца* – ритмичное надавливание на грудь, т. е. на переднюю стенку грудной клетки пострадавшего. В результате этого сердце сжимается между грудиной и позвоночником и выталкивает из своих полостей кровь. После прекращения надавливания грудная клетка и сердце распрямляются, и сердце заполняется кровью, поступающей из вен.

Цель массажа сердца – искусственное поддержание кровообращения в организме пострадавшего и восстановление нормальных естественных сокращений сердца. Одновременно с массажем сердца должно производиться искусственное дыхание.

Подготовка к массажу сердца является одновременно подготовкой к искусственному дыханию, поскольку массаж сердца должен производиться

совместно с искусственным дыханием.

Для выполнения массажа необходимо уложить пострадавшего на спину на жесткую поверхность (скамью, пол, или, в крайнем случае, положить под спину доску). Необходимо также обнажить его грудь, расстегнуть стесняющие дыхание предметы одежды.

При производстве массажа сердца оказывающий помощь встает с какой-либо стороны пострадавшего и занимает такое положение, при котором возможен более или менее значительный наклон над ним. Определив прощупыванием место надавливания (оно должно находиться примерно на два пальца выше мягкого конца грудины) (рисунок 7.6), оказывающий помощь должен положить на него нижнюю часть ладони одной руки, а затем поверх первой руки положить под прямым углом вторую руку и надавливать на грудную клетку пострадавшего, слегка помогая при этом наклоном всего корпуса (рисунок 7.7). Предплечья и плечевые кости рук оказывающего помощь должны быть разогнуты до отказа. Пальцы обеих рук должны быть сведены вместе и не должны касаться грудной клетки пострадавшего.



Рисунок 7.6 – Место надавливания на грудную клетку пострадавшего при выполнении наружного массажа сердца

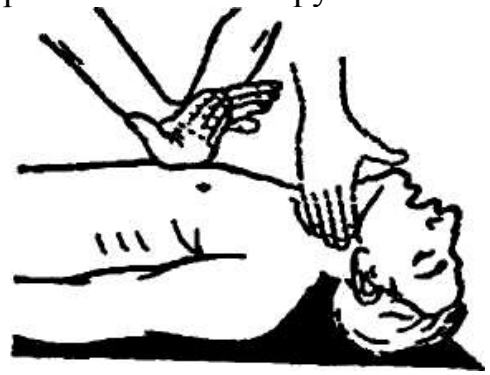


Рисунок 7.7 – Положение рук производящего массаж сердца и проверка пульса на сонной артерии (пунктир)

Надавливать следует быстрым толчком так, чтобы сместить нижнюю часть грудины вниз на 3–4 см, а у полных людей на 5–6 см. Усилие при надавливании следует концентрировать на нижней части грудины, которая является более подвижной. Следует избегать надавливания на верхнюю часть грудины, а также на окончания нижних ребер, так как это может привести к

их перелому. Нельзя надавливать ниже края грудной клетки (на мягкие ткани), так как можно повредить расположенные здесь органы, в первую очередь печень.

Надавливание (толчок) на грудину следует повторять примерно 1 раз в секунду, чтобы создать достаточный кровоток.

После быстрого толчка руки остаются в достигнутом положении в течение примерно 0,5 с. После этого следует слегка выпрямиться и расслабить руки, не отнимая их от грудины. У детей массаж производят только одной рукой, надавливая 2 раза в секунду.

Для обогащения крови пострадавшего кислородом необходимо одновременно с массажем проводить искусственное дыхание изо рта в рот (или изо рта в нос).

Если оказывающих помощь двое, то один из них должен производить искусственное дыхание, а другой – массаж сердца (рисунок 7.8). Целесообразно каждому из них производить искусственное дыхание и массаж сердца поочередно, сменяя друг друга через каждые 5–10 мин. При этом порядок оказания помощи должен быть следующим: после одного глубокого вдувания производится 5 надавливаний на грудную клетку.



Рисунок 7.8 – Наружный массаж сердца и искусственное дыхание «изо рта в рот», выполняемые двумя лицами

Если окажется, что после вдувания грудная клетка пострадавшего остается неподвижной (а это может свидетельствовать о недостаточном количестве вдуваемого воздуха), необходимо помощь оказывать в ином порядке: после двух глубоких вдуваний делать 15 надавливаний.

Следует остерегаться производить надавливание на грудину во время вдоха.

Если оказывающий помощь не имеет помощника и проводит искусственное дыхание и наружный массаж сердца один, следует чередовать проведение указанных операций в следующем порядке: после 2 глубоких вдуваний в рот или нос пострадавшего оказывающий помощь 15 раз надавливает на грудную клетку, затем снова производит 2 глубоких вдувания и повторяет 15 надавливаний для массажа сердца и т. д.

Эффективность наружного массажа сердца проявляется в первую очередь в том, что при каждом надавливании на грудину на сонной артерии чет-

ко прощупывается пульс (см. рисунок 7.7).

Другими признаками эффективности массажа является сужение зрачков, появление у пострадавшего самостоятельного дыхания, уменьшение синюшности кожи и видимых слизистых оболочек.

Для повышения эффективности массажа рекомендуется на время наружного массажа сердца приподнять (на 0,5 м) ноги пострадавшего. Такое положение ног пострадавшего способствует лучшему притоку крови в сердце из вен нижней части тела.

Искусственное дыхание и наружный массаж сердца следует производить до появления самостоятельного дыхания и восстановления деятельности сердца или до передачи пострадавшего медицинскому персоналу.

О восстановлении деятельности сердца пострадавшего судят по появлению у него собственного, не поддерживаемого массажем регулярного пульса. Для проверки пульса через каждые 2 мин прерывают массаж на 2–3 с. Сохранение пульса во время перерыва свидетельствует о восстановлении самостоятельной работы сердца.

Сердце человека, находящегося в состоянии фибрилляции, не может само по себе вернуться к нормальной естественной работе. Из-за нарастания гипоксии (недостатка кислорода в крови) работоспособность сердца быстро утрачивается и через несколько минут фибрилляция сменяется полной остановкой сердца.

Дефибрилляция сердца, т. е. устранение его фибрилляции с восстановлением нормальной естественной работы, может быть достигнута путем кратковременного воздействия большого тока на сердце пострадавшего. В этом случае под влиянием мощного электрического раздражения происходит одновременное возбуждение, а следовательно, и сокращение всех волокон сердечной мышцы, которые до того сокращались в разное время. В результате происходит однократное сокращение сердца, аналогичное тому, которое имеет место при нормальной его работе.

Значение разрядного тока дефибриллятора составляет 15–20 А, а длительность прохождения – около 10 мс.

В случае успешной дефибрилляции у пострадавшего вслед за разрядом возникает пульс. Иногда пульс появляется не сразу, а через 2–4 мин, во время которых необходимы искусственное дыхание и массаж сердца.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы освобождения пострадавшего от тока?
2. Назначение искусственного дыхания. Способы и порядок его выполнения.
3. Массаж сердца. Его цель и порядок выполнения.
4. В чем заключается дефибрилляция сердца?

8 ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа №1. Контроль изоляции электроустановок напряжением до 1000 В

Цель работы: Изучить требования, предъявляемые к изоляции электроустановок и научиться измерять её сопротивление с помощью мегаомметра.

1.1 Общие положения

Надлежащее состояние изоляции электроустановок является одним из решающих факторов, определяющих электробезопасность. В свою очередь, состояние изоляции электроустановок зависит от уровня технической эксплуатации электрохозяйства.

В процессе эксплуатации электроустановок изоляция изменяет свои свойства вследствие нагревания рабочими и пусковыми токами, токами короткого замыкания и теплом от посторонних источников, в результате динамических усилий, коммутационных и атмосферных перенапряжений, механических воздействий (при прокладке, вибрации, изгибах и др.), действия окружающей среды (с повышенной или пониженной влажностью, с содержанием химически активной среды и т.д.) и просто стареет.

Низкий уровень сопротивления или повреждение изоляции является одной из причин электротравматизма, пожаров и аварий. Поэтому в каждом случае применения электрической аппаратуры, кабелей, проводов и т.п. нужно строго следить за тем, чтобы используемое электрооборудование по своим электротехническим данным соответствовало условиям эксплуатации.

Требования изоляции находят свое выражение в нормировании параметров, характеризующих её свойства при выпуске с завода и в процессе эксплуатации, а также в регламентировании условий испытания. Эти требования определены в правилах устройства электроустановок (ПУЭ), правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) и РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

В практике эксплуатации электроустановок имеют место:

– испытание изоляции токоведущих частей повышенным напряжением промышленной частоты;

– постоянный непрерывный контроль состояния изоляции;

– периодический контроль (измерение) изоляции.

Испытание изоляции повышенным напряжением получило массовое применение пока лишь в установках напряжением выше 1000 В при проверке всех видов изоляции высоковольтной аппаратуры, оборудования подстанций и кабельных линий.

Постоянный контроль применяется при эксплуатации электроустановок, находящихся в особо опасных условиях труда (предприятия горнорудной, химической и др. отраслей промышленности), а также при эксплуатации передвижных электроустановок.

Под периодическим контролем изоляции понимают измерение её активного сопротивления в установленные правилами сроки, а также в случае обнаружения дефектов. Сопротивление изоляции обычно измеряют специальными приборами – мегаомметрами.

Для измерения сопротивления изоляции сетей обмоток электродвигателей, трансформаторов и др. электрических установок широко применяются мегаомметры типа М 1001 М, с помощью которых определяется величина сопротивления изоляции как между двумя различными токоведущими проводниками, так и между проводником и землей.

Источником тока в мегаомметрах типа М 11001 М служит генератор постоянного тока, который приводится во вращение при помощи рукоятки и может давать напряжение до 1000 В. Последовательно с генератором включен магнитоэлектрический прибор логометрической системы для измерения напряжения. Прибор снабжен шкалой, позволяющей по отклонению стрелки определить сопротивление изоляции.

Испытанию повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка состояния изоляции другими методами.

Перед проведением испытаний изоляции электрооборудования (за исключением вращающихся машин, находящихся в эксплуатации) наружная поверхность изоляции должна быть очищена от пыли и грязи, кроме тех случаев, когда испытания проводятся методом, не требующим отключения электрооборудования.

1.2 Измерение сопротивления изоляции

1.2.1 СИЛОВЫЕ КАБЕЛИ. Периодические измерения производятся мегаомметром на напряжение 2500 В в течение 1 минуты. У силовых кабелей на напряжение 1 кВ и ниже значение сопротивления изоляции должно быть не ниже 0,5 МОм. У силовых кабелей на напряжение выше 1 кВ сопротивление изоляции не нормируется.

Периодические испытания изоляции кабелей до 1000В проводятся при капитальном (К), текущем ремонте (Т) и межремонтных испытаниях (М). Сроки проведения К, Т, М устанавливает руководитель потребителя в соответствии с системой планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Периодичность испытания кабелей на напряжение до35 кВ повышенным напряжением – 1 раз в год в течение первых 5 лет эксплуатации, а в дальнейшем: – 1 раз в 2 года для кабельных линий, у которых в течение первых 5 лет не наблюдалось пробоев при испытаниях и в эксплуатации 1 раз в год, если в этот период отмечались пробои изоляции – 1 раз в 3 года для кабельных линий на закрытых территориях (подстанции, заводы и др.).

Кабели с резиновой изоляцией на напряжение до 1000 В испытаниям повышенным выпрямленным напряжением не подвергаются.

Испытательное напряжение принимается в соответствии с ПТЭЭП.

1.2.2 ПЕРЕНОСНЫЕ И ПЕРЕДВИЖНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ. Переносные и передвижные электроприемники проверяются тщательным

внешним осмотром; обращается внимание на исправность заземления и изоляции проводов, отсутствие оголённых токоведущих частей и соответствие инструмента условиям работы.

Электроинструмент должен быть проверен в отношении исправности заземляющего провода и отсутствия замыкания на корпус. Периодический контроль электроприемников напряжением от 100 до 380 В производится мегаомметром на 500-1000 В не реже 1 раза в 6 месяцев.

Сопротивление изоляции должно соответствовать указаниям изготовителей, но не менее 0,5 МОм.

Испытание повышенным напряжением проводится при (К) и если сопротивление изоляции окажется меньше допустимого. Испытательное напряжение принимается в соответствии с ПТЭЭП.

1.2.3 СИЛОВЫЕ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ. Испытание изоляции производится перед подключением электроустановки к питающей сети при вводе её в эксплуатацию и затем не реже одного раза в 3 года для помещений с нормальной средой; не реже 1 раза в год для помещений с повышенной опасностью и особо опасных.

Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Периодические измерения производятся мегаомметром на напряжение 1000 В в течение 1 минуты.

Если сопротивление изоляции окажется менее 1 МОм, изоляция должна быть испытана в течение 1 минуты переменным напряжением 1000 В от специального испытательного трансформатора.

Если в результате испытания повышенным напряжением сопротивление изоляции не уменьшилось, то проводка может быть оставлена в эксплуатации до её замены во время планового или капитального ремонта.

Кроме того испытание повышенным напряжением производится при (К).

При измерении сопротивления изоляции в силовых электропроводках должны быть отключены электроприёмники, аппараты, приборы и т.п. При измерении сопротивления изоляции в осветительных цепях должны быть удалены лампы.

1.2.4. СТАЦИОНАРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЛИТЫ. Сроки проведения периодических испытаний не реже 1 раза в год, при нагретом состоянии плиты. Допустимое сопротивление изоляции не менее 1 МОм. Напряжение мегаомметра 1000 В. Испытание повышенным напряжением производится при (К). Продолжительность испытания и повышенное напряжение принимается согласно ПТЭЭП.

1.2.5 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ. Для электродвигателей напряжением до 1000 В сопротивление изоляции обмотки статора проверяется при (К и Т), сроки которых устанавливаются в соответствии с системой ППР. Сопротивление изоляции 1 МОм при температуре 10-30°С и 0,5 МОм при температуре 60°С.

Сопротивление изоляции измеряется при номинальном напряжении обмотки до 500 В включительно мегаомметром на напряжение 500 В, при

номинальном напряжении обмотки свыше 500 В до 1000 В – мегаомметром на напряжение 1000 В, а при номинальном напряжении обмотки выше 1000 В – мегаомметром на напряжение 2500 В.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производится при (К), однако по решению руководителя потребителя испытание электродвигателей на напряжение до 1000 В может не производиться. Испытательное напряжение для электродвигателей мощностью менее 40 кВ и напряжением до 660 В составляет 1 кВ. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

1.2.6. ПОНИЖАЮЩИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ.

Периодические испытания изоляции понижающих трансформаторов напряжения проводятся в сроки проведения (К, М) и устанавливаются руководителем потребителя в соответствии с системой ППР.

Сопротивление изоляции первичных обмоток трансформаторов напряжением до 35 кВ должно быть не менее 100 МОм. Производится мегаомметром на напряжение 2500 В.

Сопротивление изоляции вторичных обмоток совместно с подключенными цепями должно быть не менее 1 МОм, при отключенных вторичных цепях – не менее 50 МОм. Измерение производится мегаомметром на напряжение 1000 В.

Испытания изоляции первичных обмоток повышенным напряжением частоты 50 Гц проводятся для трансформаторов напряжения с изоляцией всех выводов обмотки высокого напряжения этих трансформаторов на номинальное напряжение.

Значения испытательного напряжения основной изоляции приведены в ПТЭЭП.

Длительность испытания трансформаторов напряжения с фарфоровой внешней изоляцией – 1 мин, с органической изоляцией – 5 мин.

Значение испытательного напряжения для изоляции вторичных обмоток вместе с присоединенными к ним цепями принимается равным 1 кВ.

Продолжительность приложения испытательного напряжения – 1 мин.

1.3 Приборы и оборудование

Для выполнения работы необходимо иметь:

1 Электродвигатель АО-4
2 Понижающий трансформатор ТБС-2
3 Электрическая дрель ИЭ 1008
4 Кабель КРПТ
5 Мегаомметр М 4100/4

1.4 Методика проведения измерений

Измерение сопротивления изоляции цепей и аппаратов проводится мегаомметром М 4100/4.

Мегаомметры применяются для измерения сопротивления изоляции цепей, не находящихся под напряжением. Поэтому перед измерением в реальных условиях необходимо убедиться в отсутствии напряжения на исследуемых электрических цепях, а также принять меры, чтобы под испытательное напряжение, подаваемое мегаомметром, не попал обслуживающий персонал или посторонние лица.

Перед измерением сопротивления изоляции необходимо убедиться в исправности мегаомметра.

Лабораторная работа выполняется лаборантом, имеющим 3 группу допуска по электробезопасности под контролем преподавателя.

Для проверки исправности прибора поступают так:

– вращают ручку генератора при разомкнутых зажимах и следят за тем, чтобы стрелка устанавливалась на отметку "∞" шкалы. В противном случае прибор неисправен.

Ручку генератора следует вращать со скоростью 120 об/мин.

Измерение сопротивления изоляции электропроводов производится между двумя точками электрооборудования, указанного в таблицах приложения.

Длительность каждого испытания – 1 минута.

Сопротивление изоляции электродрели измеряется между любой из жил питания и корпусом.

Сопротивление изоляции понижающего трансформатора измеряется между выводами обмоток высшего и низшего напряжения относительно корпуса и между обмотками непосредственно.

При испытании изоляции кабеля производится измерение сопротивления изоляции каждой жилы относительно всех остальных. Кабель считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя изоляции, не было резких бросков стрелки прибора в сторону меньшего сопротивления, не наблюдалось постоянное снижение сопротивления изоляции в процессе испытания.

Испытание обмотки статора электродвигателя производится для каждой фазы в отдельности относительно корпуса. У двигателей, не имеющих выводов каждой фазы в отдельности, допускается производить испытание изоляции всей обмотки относительно корпуса.

1.5 Требования охраны труда

Категорически запрещается прикасаться к оголенным выводам мегаомметра руками или другими частями тела.

Существует опасность пореза острыми частями многожильных проводников.

1.6 Содержание отчета

Отчет по настоящей работе должен содержать методику проведения измерений, результаты измерения сопротивления изоляции, электродрели, понижающих трансформаторов, кабеля и обмотки статора электродвигателя.

Данные измерений занести в таблицы, которые даны в приложении 1-1. В выводах дать заключение о соответствии изоляции проверенного электрооборудования установленным нормам.

Контрольные вопросы при подготовке к лабораторной работе

1. Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы.
2. Для чего необходимо контролировать сопротивление электрической изоляции электрооборудования? Вследствие чего оно может уменьшаться?
3. Виды контроля сопротивления изоляции.
4. Методика проведения измерений сопротивления электрической изоляции.
5. Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы

1 Виды контроля сопротивления изоляции.
2. Методика проведения измерений сопротивления электрической изоляции.
3. Периодичность испытания изоляции силовых и осветительных электропроводок, обмоток статора электродвигателей, переносного электроинструмента, понижающих трансформаторов, силового кабеля.
4. Нормируемая величина сопротивления изоляции силовых и осветительных электропроводок, обмоток статора электродвигателей, переносного электроинструмента, понижающих трансформаторов, силового кабеля.
5. Как правильно измерить сопротивление изоляции силовой и осветительной проводки?
6. В каких случаях изоляция осветительных и силовых проводок испытываются повышенным напряжением? Каким образом проводится испытание?

Приложение 1-1

Таблица П 1.1 – Испытание изоляции понижающих трансформаторов

Тип трансформатора	Обмотка ВН–корпус	Обмотка НН–корпус	Обмотки ВН–НН	Заключение об исправности
ТБС–2				

Таблица П 1.2 – Измерение сопротивления изоляции электродрели

Испытываемый электроинструмент	Жила 1–корпус	Жила 2–корпус	Жила 3–корпус	Заключение об исправности
ИЭ 1008				

Таблица П 1.3 – Испытание изоляции кабеля

Марка кабеля	Фаза А– 0	Фаза В– 0	Фаза С– 0	Заключение об исправности изоляции кабеля
КРПТ				

Таблица П 1.4 – Испытание обмотки статора электродвигателей

Марка двигателя	Фаза А– корпус +	Фаза В– корпус +	Фаза С– корпус +	Заключение об исправности эл. двигателя
АО–4				

Лабораторная работа №2. Исследование заземляющих устройств в сетях напряжением до 1000 В

Цель работы: Освоить методы измерения сопротивления заземляющих устройств и электрического сопротивления земли и способа проверки исправности заземляющих проводников.

2.1 Общие положения

Согласно ГОСТ 12.1.030–81 и ПУЭ для защиты от поражения током при повреждении изоляции должна применяться одна из мер электробезопасности: защитное заземление, зануление, защитное отключение, малое напряжение, электрическое разделение сети, двойная изоляция, выравнивание потенциалов и др.

Благодаря универсальности и сравнительной простоте выполнения наибольшее распространение получили защитное заземление и зануление.

2.1.1 ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ это преднамеренное электрическое соединение с землёй или её эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Применяется в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Задача защитного заземления заключается в устранении опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу, оказавшемуся под напряжением.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения между корпусом, оказавшемся под напряжением, и землёй до безопасного значения.

2.1.2 ЗАНУЛЕНИЕ это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Зануление применяется в 3–х фазных и четырёхпроводных сетях напряжением до 1000 В с глухозаземлённой нейтралью (380/220 В, 220/127 В).

Задача зануления заключается в устранении опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу, оказавшемуся под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить повреждённую установку от питающей сети.

Заземление без присоединения к нулевому проводу в сетях с глухим заземлением нейтралью категорически запрещено.

Заземляющие устройства служат для обеспечения нормальной работы

электрических сетей (заземление нейтралей трансформаторов, заземление зарядников) и для защиты персонала от опасных напряжений, которые могут возникнуть на металлических частях электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, при повреждении изоляции в сети. Заземление электрооборудования должно обеспечивать создание между его корпусом и землёй электрической цепи достаточно малого сопротивления.

В состав заземляющего устройства входят:

а) заземлитель, представляющий собой один или несколько металлических электродов, соединённых параллельно, располагаемых в земле и предназначенных для создания электрического соединения с землёй;

б) заземляющие проводники, служащие для соединения заземляемых частей электроустановки с заземлителем.

Сопротивление, которое оказывает земля току, стекающему с заземляющего устройства, называется сопротивлением растеканию заземлителя. Вместо этого термина обычно применяется условный сокращённый термин «сопротивление заземлителя». Его не следует смешивать с сопротивлением заземлителя как проводника.

Сопротивление заземлителя $R_З$ определяется как отношение напряжения на нём относительно земли (т. е. точки нулевого потенциала) к току, протекающему через заземлитель в землю

$$R_З = \frac{U_З}{I_З}, \text{Ом}.$$

Ток с заземлителя растекается на некотором участке земли, где его протекание можно обнаружить с помощью приборов. Эта зона называется полем растекания. Для простых заземлителей в однородном грунте поле растекания заключено в пределах окружности радиусом около 20 м. За пределами поля растекания лежит зона нулевого потенциала, т. е. зона, потенциал каждой точки которой не отличается от потенциала земли, принятого за систему отсчёта.

Сопротивление растеканию одиночного заземлителя отличается от сопротивления растеканию того же заземлителя, включённого в состав сложного заземляющего устройства. Простые заземлители, расположенные рядом и объединённые электрически взаимно экранируют друг друга, что приводит к увеличению их сопротивления. Степень повышения сопротивления растеканию простых заземлителей (вертикальный стержень, горизонтальная полоса), испытывающих взаимное влияние, оценивается коэффициентом использования заземлителей, определяемым по формуле:

$$\eta = \frac{R_1}{R_З \cdot n},$$

где R_1 – сопротивление растеканию простого одиночного заземлителя;

n – число простых заземлителей, объединённых в сложный;

$R_З$ – сопротивление растеканию сложного заземлителя.

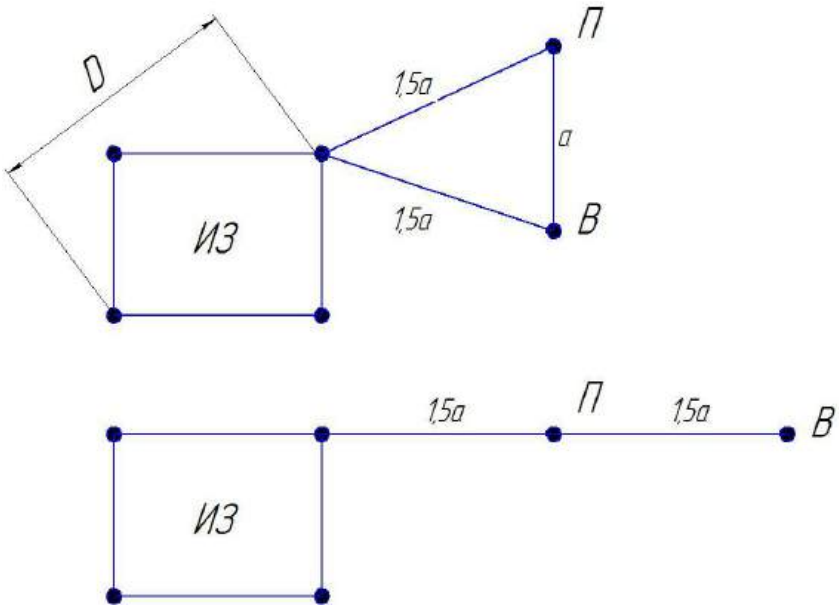
Коэффициент использования всегда меньше единицы.

2.2 Измерение сопротивления заземляющих устройств

1. Измерение сопротивления заземляющих устройств, производится по методу амперметра–вольтметра или с помощью специальных измерителей заземлений (приборов).

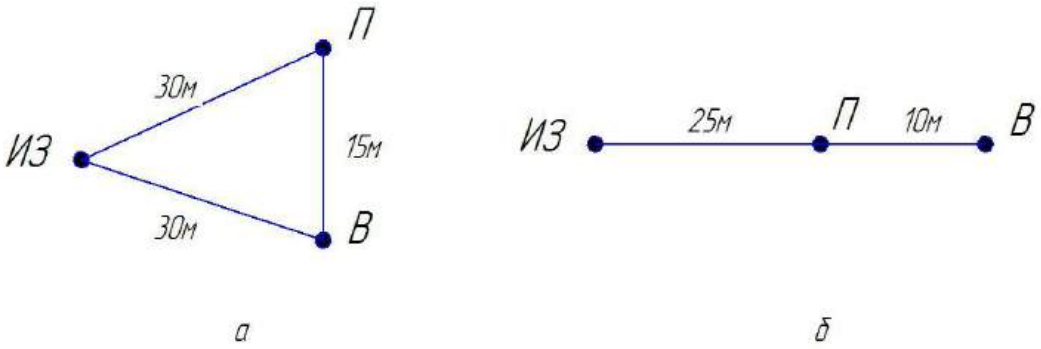
При измерениях используются вспомогательный заземлитель (токовый), служащий для создания цепи прохождения тока через испытываемый заземлитель, а также потенциальный заземлитель (зонд), служащий для измерения падения напряжения на испытываемом заземлителе и помещаемый в зону нулевого потенциала.

Вспомогательный заземлитель и зонд выполняются, как правило, в виде стальных стержней диаметром не менее 0,5 см, забиваемых в грунт на глубину около 0,5 м. Схемы расположения измерительных электродов при испытании заземляющих устройств различного типа приведены на рисунках 2.1 и 2.2.



ИЗ – испытуемый заземлитель, П – потенциальный электрод, В – вспомогательный электрод. При D≤ 10 м a = 20 м; при 10 м < D ≤ 40 м a ≥ 40 м; при D > 40 м a > D

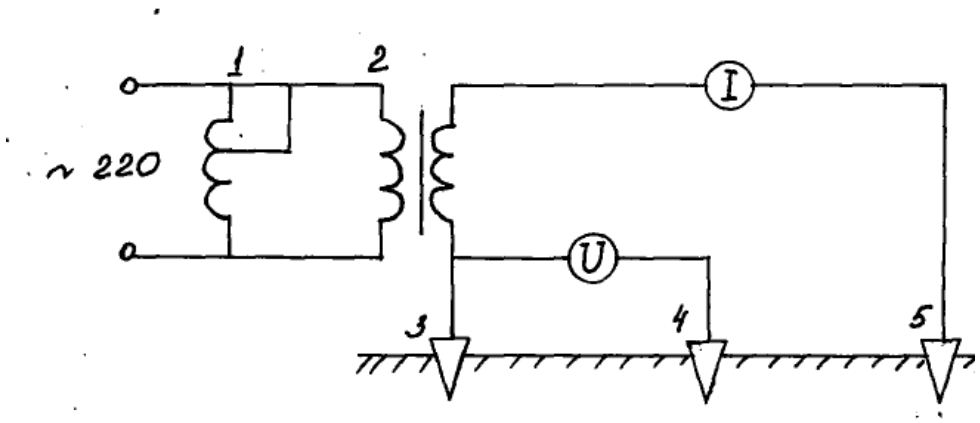
Рисунок 2.1 – Схемы расположения электродов при измерении сопротивления сложных заземлителей и одиночных горизонтальных полос



а – двухлучевая ; б – однолучевая

Рисунок 2.2 – Схемы расположения электродов при измерении сопротивления одиночных вертикальных заземлителей длиной до 6 м

2. Метод амперметра-вольтметра применяется в случаях, когда требуется повышенная точность измерений или отсутствуют измерители заземлений. Схема измерения по этому методу представлена на рисунке 2.3. Точность измерения зависит от точности применяемых измерительных приборов.

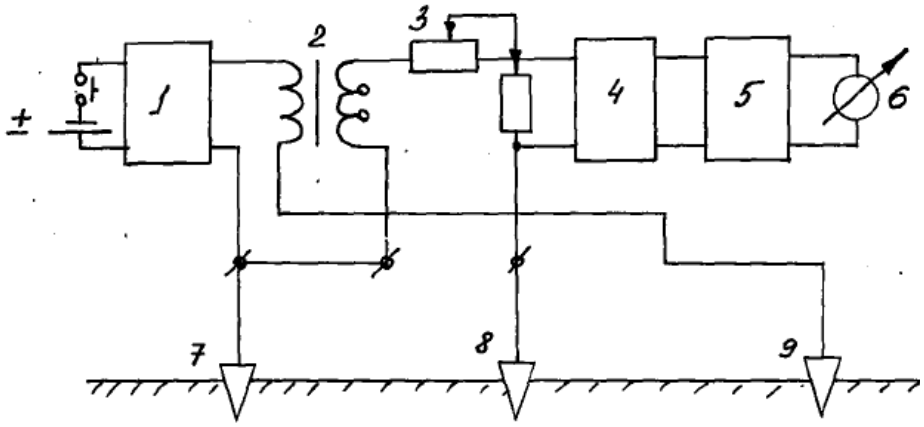


1 – автотрансформатор; 2 – понижающий трансформатор; 3 – испытуемый заземлитель; 4 – зонд; 5 – вспомогательный заземлитель

Рисунок 2.3 – Схема измерения сопротивления заземления по методу амперметра–вольтметра

3. Измеритель М–416 более удобен при измерениях, т. к. имеет малый вес и вращающуюся шкалу, позволяющую фиксировать измеренное значение. М–416 собран на полупроводниках, имеет автономное питание от батареек.

Электрическая блок-схема измерителя М – 416 приведена на рисунке 2.4.



1 – преобразователь; 2 – трансформатор; 3 – реохорд; 4 – усилитель; 5 – детектор; 6 – микроамперметр; 7 – испытуемый заземлитель; 8 – зонд; 9 – вспомогательный заземлитель

Рисунок 2.4 – Упрощенная схема измерителя М–416

4. Измеритель М–1103М разработан в искробезопасном исполнении для проверки заземляющих устройств в электроустановках горнодобывающей промышленности. Он также может быть применён для проверки любых других заземлителей с сопротивлением растеканию от 0,1 до 50 Ом.

2.3 Измерение удельного электрического сопротивления грунта

В практике предпроектных изысканий и эксплуатации электроустановок требуется измерение удельного электрического сопротивления грунта. Наибольшее распространение получили два способа определения удельного сопротивления: метод пробного электрода и четырёхзондовый метод.

2.3.1 Метод пробного электрода состоит в измерении сопротивления растеканию стержня известных размеров, забитого на определённую глубину. Усреднённое значение сопротивления грунта от его поверхности до глубины погружения стержня подсчитывается по формуле:

$$\rho = 2{,}73 \cdot \frac{R \cdot l}{\lg \frac{4 \cdot l}{d}},$$

где R – измеренное сопротивление заземления, Ом;
l – глубина забивки стержня, м;
d – диаметр стержня, м.

2.3.2 Метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) может быть выполнен с помощью измерителей МС–08 и М–416. На поверхности грунта забивают по прямой линии четыре электрода на равных расстояниях (a) один от другого. Глубина забивки стержней должна быть не более 1 / 3

части расстояния между ними. По методике, описанной ниже, производится измерение сопротивления (зондирование) грунта.

Первое измерение удельного сопротивления грунта производят при a = 0,5 *м,* второе - при a = 0,7 *м* и т.д. При каждом измерении симметрично относительно центра зондирования «0» раздвигают все четыре электрода. По мере увеличения расстояния a показания измерителя заземлений будут уменьшаться. Процесс измерений необходимо грунта до тех пор, пока не будет достигнут нижний предел шкалы прибора. Обычно зондирование заканчивается при a = 15,3 *м,* реже - при a = 40 *м.*

Удельное сопротивление грунта подсчитывается по формуле:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R,$$

где R – показание прибора, Ом;

a – расстояние между стержнями, м.

Приближённо можно считать, что при этом способе определяется удельное сопротивление грунта на глубине, равной расстоянию между соседними стержнями.

2.4 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работе необходимо иметь:

1. Измеритель заземления М–416.
2. Измеритель заземления искробезопасный М–1103.
3. Лабораторный стенд, моделирующий наличие потенциального, вспомогательного и измеряемых (4 шт.) заземлителей.
4. Приборы для измерения сопротивления заземления методом Амперметра–вольтметра – 1 комплект.

2.5 Требования охраны труда при проведении лабораторной работы

Сборка электрических схем производится только с разрешения преподавателя.

Запрещается находиться около других лабораторных стендов, не используемых в данной работе.

2.6 Порядок выполнения работы

1. Измерение сопротивления заземляющих устройств.

В этом разделе необходимо произвести измерение сопротивления четырёх вертикальных стержневых заземлителей длиной по 3 м (рисунок 2.1) (№ 1–4), погружённых в землю. От стержней изолированными проводами выполнены выводы на лабораторный стенд.

Произвести измерение сопротивления указанных заземлителей по методу амперметра–вольтметра (рисунок 21.3) и с помощью измерителей за-

землений М–416 и М–1103. После измерения сопротивления каждого электрода в отдельности измерить сопротивление сложного заземляющего устройства, полученного путём электрического объединения четырёх стержней № 1–4. Для этого необходимо соединить на щитке зажимы соответствующих электродов.

Порядок измерений указан на крышках соответствующих приборов. При оценке результатов измерения необходимо учитывать коэффициенты, соответствующие положению переключателей диапазонов. Вспомогательный и потенциальный заземлители помещены в грунт стационарно на рекомендуемых расстояниях друг от друга и от испытываемых стержней. При измерениях необходимо пользоваться соответствующими им зажимами «В» и «П» на лабораторном стенде.

2. Измерение удельного электрического сопротивления грунта.

Произвести измерение удельного сопротивления грунта методом ВЭЗ с помощью измерителя М–416.Для этого использовать соответствующие зажимы на лабораторном стенде.

2.7 Содержание отчёта

Отчёт должен содержать результаты измерения сопротивления четырёх вертикальных стержней и сопротивления сложного заземлителя, полученного в результате их электрического соединения. Начертить схемы расположения измерительных электродов для измерения сопротивления сложного заземлителя, учитывая, что составляющие его электроды расположены в вершинах квадрата со стороной 3 м. Начертить схему расположения измерительных электродов при измерении сопротивления одиночного вертикального электрода длиной 3 м. На обеих схемах указать на каких расстояниях должны находиться измерительные и испытываемый заземлители.

Определить коэффициент использования заземляющих стержней, составляющих сложный заземлитель, по формуле, приведённой в описании.

За основу для расчёта принять данные, полученные методом амперметра–вольтметра. При расчёте предварительно вычислить среднее значение сопротивления одиночных стержней.

Для измеренного сопротивления стержня № 1 вычислить удельное сопротивление грунта, пользуясь формулой, приведённой в описании метода пробного электрода. При этом принять $l = 3$ м, $d = 0{,}012$ м.

Вычислить удельное сопротивление грунта, пользуясь данными его измерения с помощью измерителя М-416 по методу ВЭЗ. При вычислении принять $a = 3$ м.

Форма для составления отчёта дана в приложении к настоящему описанию.

Контрольные вопросы при подготовке к лабораторной работе

1. Требования охраны труда при проведении лабораторной работы.

2. Защитное заземление и зануление. Определение, назначение, задача, принцип действия.

3. Методика выполнения работы.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы

1. С какой целью необходимо производить измерение сопротивления заземления?

2. Защитное заземление и зануление. Определение, назначение, задача, принцип действия.

3. Какой способ измерения сопротивления заземляющих устройств, применяется в случаях, когда требуется повышенная точность измерений?

4. Какие минимальные расстояния между испытываемым заземлителем, зондом и вспомогательным электродом, допускаются при измерении сопротивления одиночных и сложных заземлителей при различных схемах измерения?

5. Каково назначение токового и потенциального вспомогательных электродов?

6. Как произвести измерение сопротивления заземления при помощи приборов М-416 и М-1103?

Приложение 2-1

Отчёт по лабораторной работе № 2

1 Схема расположения электродов при измерении сопротивления сложного заземлителя.

Схема расположения электродов при измерении сопротивления одиночного заземлителя (вертикального электрода длиной 3 м).

2 Измерение сопротивления заземлителя

Таблица П 2.1 – Данные измерений

Применяемый метод, прибор	Одиночные заземлители				Сложный заземлитель
	1	2	3	4	
Метод амперметра-вольтметра					
М–416					
М–1103					

Среднее значение для четырёх стержней Ом.

Коэффициент использования одиночных заземлителей

3 Удельное сопротивление грунта, полученное методом ВЭЗ

Лабораторная работа № 3.
Изучение электрозащитных средств

Цель работы: Изучить правила применения, испытания и хранения защитных средств и предохранительных приспособлений, применяемых в электроустановках напряжением до 1000 В и свыше 1000 В.

3.1 Общие положения

При работе в электроустановках используются (таблица 3.1):

1) средства защиты от поражения электрическим током (электрозащитные средства);

2) средства защиты от электрических полей повышенной напряженности, коллективные и индивидуальные (в электроустановках напряжением 330 кВ и выше);

3) средства индивидуальной защиты (СИЗ) в соответствии с государственным стандартом (средства защиты головы, глаз и лица, рук, органов дыхания, от падения с высоты, одежда специальная защитная).

Электрозащитное средство (ЭЗС) – это средство защиты от поражения электрическим током, предназначенное для обеспечения электробезопасности.

К ЭЗС относятся:

– изолирующие штанги всех видов;

– изолирующие клещи;

– указатели напряжения;

– сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные и стационарные;

– устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля);

– диэлектрические перчатки, галоши, боты;

– диэлектрические ковры и изолирующие подставки;

– защитные ограждения (щиты и ширмы);

– изолирующие накладки и колпаки;

– ручной изолирующий инструмент;

– переносные заземления;

– плакаты и знаки безопасности;

– специальные средства защиты, устройства и приспособления изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше;

– гибкие изолирующие покрытия и накладки для работ под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В;

– лестницы приставные и стремянки изолирующие стеклопластиковые.

Таблица 3.1 – Классификация средств защиты, применяемых в электроустановках

<table>
<tr><td colspan="7">Средства защиты, применяемые в электроустановках</td></tr>
<tr><td colspan="5">Электрозащитные средства (ЭЗС)</td><td rowspan="3">Средства защиты от эл. полей повышенной напряженности</td><td rowspan="3">Средства индивидуальной защиты</td></tr>
<tr><td colspan="4">Изолирующие ЭЗС</td><td rowspan="2">Неизолирующие ЭЗС</td></tr>
<tr><td colspan="2">До 1 кВ</td><td colspan="2">Выше 1 кВ</td></tr>
<tr><td>Основные изолирующие ЭЗС</td><td>Дополнительные изолирующие ЭЗС</td><td>Основные изолирующие ЭЗС</td><td>Дополнительные изолирующие ЭЗС</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>изолирующие штанги всех видов</td><td>диэлектрические галоши</td><td>изолирующие штанги всех видов</td><td>диэлектрические перчатки и боты</td><td>плакаты</td><td>комплекты индивидуальные экранирующие</td><td>средства защиты головы (каски защитные)</td></tr>
<tr><td>изолирующие клещи</td><td>диэлектрические ковры и изолирующие подставки</td><td>изолирующие клещи</td><td>диэлектрические ковры и изолирующие подставки</td><td>знаки безопасности</td><td>съемные и переносные экранирующие устройства</td><td>средства защиты глаз и лица (очки и щитки защитные)</td></tr>
<tr><td>указатели напряжения</td><td>изолирующие колпаки, покрытия и накладки</td><td>указатели напряжения</td><td>изолирующие колпаки и накладки</td><td>переносные заземления</td><td>плакаты безопасности</td><td>средства защиты органов дыхания (противогазы и респираторы)</td></tr>
<tr><td>электроизмерительные клещи</td><td>лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые</td><td rowspan="3">устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля и т.п.)</td><td>штанги для переноса и выравнивания потенциала</td><td>защитные ограждения</td><td></td><td>средства защиты рук (рукавицы)</td></tr>
<tr><td>диэлектрические перчатки</td><td></td><td>лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые</td><td>сигнализаторы наличия напряжения</td><td></td><td>средства защиты от падения с высоты (пояса предохранительные и канаты страховочные)</td></tr>
<tr><td>ручной изолирующий инструмент</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">специальные средства защиты, устройства и приспособления изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше (кроме штанг для переноса и выравнивания потенциала)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Изолирующие электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные.

Основное изолирующее электрозащитное средство – это изолирующее электрозащитное средство, изоляция которого длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которое позволяет работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением.

Дополнительное изолирующее электрозащитное средство - изолиру-

ющее электрозащитное средство, которое само по себе не может при данном напряжении обеспечить защиту от поражения электрическим током, но дополняет основное средство защиты, а также служит для защиты от напряжения прикосновения и напряжения шага. При использовании основных изолирующих электрозащитных средств достаточно применение одного дополнительного.

К *основным изолирующим электрозащитным средствам* для электроустановок напряжением *выше 1000 В* относятся:

– изолирующие штанги всех видов;

– изолирующие клещи;

– указатели напряжения;

– устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля и т.п.);

– специальные средства защиты, устройства и приспособления, изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше (кроме штанг для переноса и выравнивания потенциала).

К *дополнительным изолирующим электрозащитным средствам* для электроустановок напряжением *выше 1000 В* относятся:

– диэлектрические перчатки и боты;

– диэлектрические ковры и изолирующие подставки;

– изолирующие колпаки и накладки;

– штанги для переноса и выравнивания потенциала;

– лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

К *основным изолирующим электрозащитным средствам* для электроустановок напряжением *до 1000 В* относятся:

– изолирующие штанги всех видов;

– изолирующие клещи;

– указатели напряжения;

– электроизмерительные клещи;

– диэлектрические перчатки;

– ручной изолирующий инструмент.

К *дополнительным изолирующим электрозащитным средствам* для электроустановок напряжением *до 1000 В* относятся:

– диэлектрические галоши;

– диэлектрические ковры и изолирующие подставки;

– изолирующие колпаки, покрытия и накладки;

– лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

При необходимости защитить работающего от напряжения шага диэлектрические боты или галоши могут использоваться без основных средств защиты

К *средствам защиты от электрических полей повышенной напряженности* относятся комплекты индивидуальные экранирующие для работ на потенциале провода воздушной линии электропередачи (ВЛ) и на потенциале

земли в открытом распределительном устройстве (ОРУ) и на ВЛ, а также съемные и переносные экранирующие устройства и плакаты безопасности.

Кроме перечисленных средств защиты в электроустановках применяются следующие *средства индивидуальной защиты*:

– средства защиты головы (каски защитные);

– средства защиты глаз и лица (очки и щитки защитные);

– средства защиты органов дыхания (противогазы и респираторы);

– средства защиты рук (рукавицы);

– средства защиты от падения с высоты (пояса предохранительные и канаты страховочные);

– одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги);

– когти, лазы.

3.2 Правила пользования, хранения и учета средств защиты

Персонал, проводящий работы в электроустановках, должен быть обеспечен всеми необходимыми средствами защиты, обучен правилам применения и обязан пользоваться ими для обеспечения безопасности работ.

При работах следует использовать только средства защиты, имеющие маркировку, а также штамп об испытании.

Инвентарные средства защиты распределяются между электроустановками и между выездными бригадами в соответствии с нормами комплектования (приложение 3-1). Средства защиты могут также выдаваться для индивидуального пользования, и тогда работники отвечают за их правильную эксплуатацию и своевременный контроль за их состоянием.

Изолирующими ЭЗС следует пользоваться по их прямому назначению в электроустановках напряжением не выше того, на которое они рассчитаны. Изолирующие ЭЗС рассчитаны на применение в закрытых электроустановках, а в открытых электроустановках – только в сухую погоду. В изморось и при осадках пользоваться ими не допускается.

Перед каждым применением средства защиты персонал обязан проверить его исправность, отсутствие внешних повреждений и загрязнений, а также проверить по штампу срок годности.

При использовании ЭЗС не допускается прикасаться к их рабочей части, а также к изолирующей части за ограничительным кольцом или упором.

Эксплуатируемые средства защиты из резины и полимерных материалов следует хранить в шкафах, на стеллажах, полках, отдельно от инструмента и других средств защиты. Они должны быть защищены от воздействия разрушающих веществ, а также от прямого воздействия солнечных лучей и теплоизлучения нагревательных приборов (не ближе 1 м от них). Изолирующие штанги, клещи и указатели напряжения выше 1000 В следует хранить в условиях, исключающих их прогиб и соприкосновение со стенами.

Средства защиты вместе с их перечнем размещают у входа в помещение, а также на щитах управления. Места хранения оборудуют крючками,

шкафами. Средства защиты выездных бригад или индивидуального пользования, хранят в ящиках, сумках или чехлах отдельно от прочего инструмента.

Инвентарный номер наносят на ЭЗС и СИЗ краской, выбивают на металлических деталях или крепят бирку с номером (за исключением касок защитных, диэлектрических ковров, изолирующих подставок, плакатов безопасности, защитных ограждений, штанг для переноса и выравнивания потенциала).

Наличие и состояние средств защиты проверяется периодическим осмотром, который проводится не реже 1 раза в 6 мес. (для переносных заземлений – не реже 1 раза в 3 мес.) работником, ответственным за их состояние, с записью результатов осмотра в журнал учета и содержания средств защиты.

ЭЗС, предохранительные монтерские пояса и страховочные канаты, полученные для эксплуатации со складов, должны быть проверены по нормам эксплуатационных испытаний (приложение 18-2), что регистрируются в журналах, протоколах.

На выдержавшие испытания средства защиты, применение которых зависит от напряжения электроустановки, ставится штамп:

№_____
Годно до ____ кВ
Дата следующего испытания "___" _____ 20__ г.
_____
(наименование лаборатории)

На средства, применение которых не зависит от напряжения электроустановки (диэлектрические перчатки, галоши, боты и т.п.), ставится штамп:

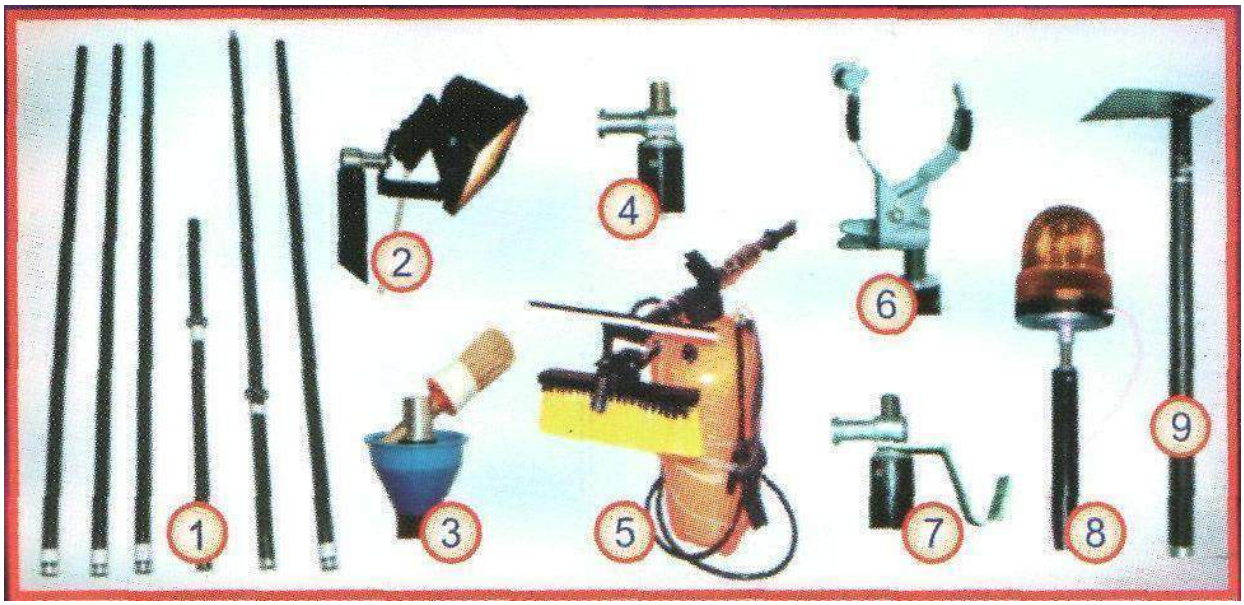
№_____
Дата следующего испытания "___" _____ 20__ г.
_____
(наименование лаборатории)

Штамп наносится несмываемой краской или наклеивается на изолирующей части около ограничительного кольца изолирующих ЭЗС и устройств для работы под напряжением или у края резиновых изделий и предохранительных приспособлений. При испытаниях диэлектрических перчаток, бот и галош должна быть произведена маркировка *Эв* и *Эн*. На средствах защиты, не выдержавших испытания, штамп должен быть перечеркнут красной краской.

Изготавливают, испытывают средства защиты и пользуются ими в соответствии с ГОСТами, техническими условиями и инструкциями (например, «Инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках» СО 153-34.03.603-2003).

3.3 Характеристика некоторых классов ЭЗС

3.3.1 ШТАНГИ ИЗОЛИРУЮЩИЕ ОПЕРАТИВНЫЕ, ШТАНГИ ПЕРЕНОСНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ШТАНГИ. Штанги должны состоять из трех основных частей: рабочей, изолирующей и рукоятки. Штанги могут быть составными или телескопическими. Штанги изолирующие оперативные (рисунок 3.1) предназначены для оперативной работы (операции с разъединителями, смена предохранителей, установка деталей разрядников и т.п.), измерений (проверка изоляции на линиях электропередачи и подстанциях), для наложения переносных заземлений, а также для освобождения пострадавшего от электрического тока.



Насадки и приспособления к штанге ШЭУ (1) для проведения следующих работ на высоте 8 – 10 м: освещение места проведения работ (2); покраска (3); управление разъединителями (4); очистка конструкций стеклянных поверхностей от загрязнений (5); снятие / установка высоковольтных предохранителей (6); рассоединение схлестнувшихся проводов, снятие посторонних предметов с проводов (7); обозначение места проведения работ (8); очистка проводов и конструкций от льда и снега (9)

Рисунок 3.1 – Штанга электроизолирующая ШЭУ 10-5-6,6

Оперативные штанги могут иметь сменные головки для выполнения различных операций.

Перед началом работ проверяется работоспособность резьбовых соединений рабочей и изолирующей части. Подниматься на конструкцию и телескопическую вышку следует без штанги.

Штанги переносных заземлений предназначены для установки и снятия переносного заземления. Применение штанг переносных заземлений показано на рисунке 3.12.

Универсально-измерительные штанги ШИ-35/110У1 (Рисунок 3.2) предназначены для контроля подвесных и опорных изоляторов, линейных и подстанционных соединителей, для снятия набросов только в сухую погоду.

Рабочая часть штанги представляет собой съемную головку с двумя парами сменных щупов и измерительным прибором. В качестве измерительного прибора использован стрелочный микроамперметр с добавочным резистором, расположенным внутри бакелитовой трубки коромысла измерительной головки. Шарнирное соединение коромысла с держателем прибора позволяет производить измерения при наклоне головки относительно оси штанги до 45°. Съемная головка для снятия набросов представляет собой конусную трехштырьковую вилку размерами 70 х 230 мм. Изолирующая часть штанги может быть выполнена из трех телескопических бакелитовых трубок, покрытых лаком и соединенных стальными муфтами, или из звеньев из древеснослоистого пластика прямоугольного сечения, соединенных металлическими муфтами с винтами.

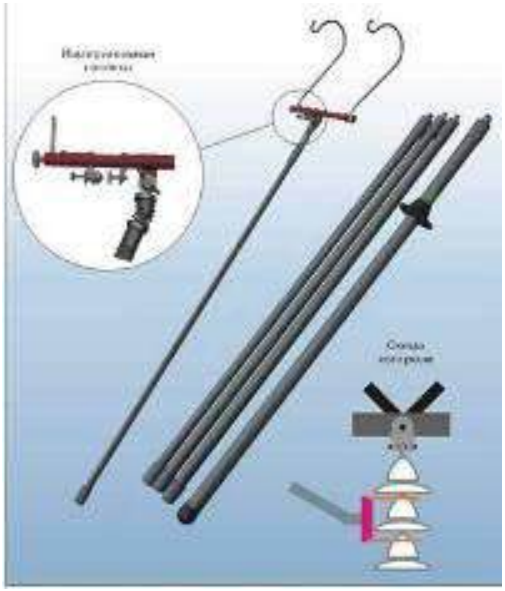


Рисунок 3.2 – Контроль состояния изоляторов

Проверка состояния изоляторов (Рисунок 3.2) производится путем соприкосновения пары контактов устройства с замковыми частями чашек изолятора. В случае нарушения целостности изолятора (увеличения тока утечки) пробоя искрового промежутка не происходит. В противном случае происходит пробой по воздушному промежутку, что свидетельствует об исправном состоянии изолятора.

Универсально-измерительная штанга ШИУ-220, Предназначена для контроля опорно-штыревых изоляторов в РУ 35-220 кВ, стержневых опорных и подвесных изоляторов, состояния соединительных зажимов проводов и шин на подстанциях и ВЛ 35-220 кВ.

Штанга ШИУ-220 включает в себя рукоятку длиной 1 м с ограничивающим упором, два-три легких бакелитовых звена длиной 1 м и набор измерительных приборов, состоящий из головки для измерения падения напряжений на изоляторах ВЛ и РУ 110–220 кВ, головки с конденсатором для изме-

рения падения напряжения на. изоляторах ВЛ и РУ до 35 кВ, головки для контроля соединительных зажимов с милливольтметром на 5-25-125 мВ.

Штанга ШИУ-220 должна иметь для напряжений 35, 110 и 154 кВ не менее двух изолирующих звеньев, а для 220 кВ - не менее трех. При необходимости штанга может быть собрана из большего количества звеньев. При использовании четырех и более звеньев штангу при измерениях следует поддерживать изолирующим, канатом.

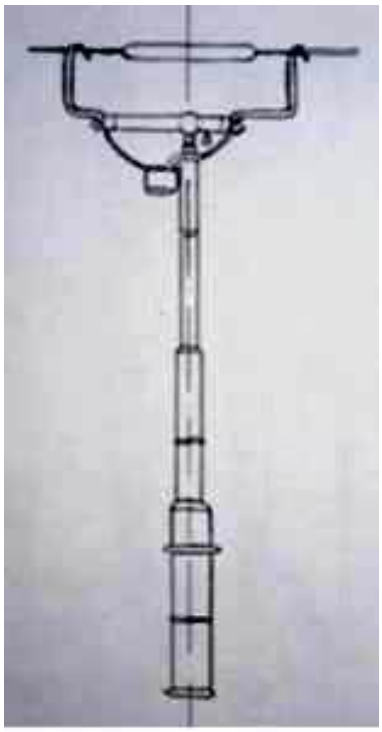


Рисунок 3.3 – Проверка состояния соединительных зажимов проводов

Проверка состояния соединительных зажимов проводится следующим образом (Рисунок 3.3). К штанге крепится сменная головка с милливольтметром. Производится два замера на проверяемом контактном соединении – щупы накладываются на соединение. Для сравнения производится третий замер – щупы накладываются на целый провод. Оценка качества контактного соединения производится по отношению падения напряжения на целом участке данной линии к падению напряжения в контактном соединении.

Контроль напряжения на изоляторах производится следующим образом. К штанге крепится соответствующая головка для измерения падения напряжения на изоляторах. После наложения щупов на изоляторы (аналогично рисунку 3.2), стрелка прибора покажет соответствующее напряжение (кВ), которое необходимо умножить на коэффициент равный 5, и получить действительное напряжение на изоляторе в кВ. Если изолятор неисправен, то напряжение на нем будет отличаться от номинального напряжения сети.

3.3.2 КЛЕЩИ ИЗОЛИРУЮЩИЕ И ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ. Клещи изолирующие предназначены для замены предохранителей в электроустановках до и выше 1000 В, а также для снятия накладок, ограждений в электроустановках до 35 кВ включительно.

Клещи состоят из рабочей части (губок клещей), изолирующей части и

рукоятки (рукояток). Изолирующая часть клещей должна быть отделена от рукояток ограничительными упорами (кольцами) (Рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Клещи изолирующие КИ–1000

При работе с клещами по замене предохранителей в электроустановках напряжением до 1000 В необходимо применять очки, а клещи необходимо держать на вытянутой руке. При работе с клещами по замене предохранителей в электроустановках напряжением выше 1000 В необходимо применять диэлектрические перчатки и очки.

Электроизмерительные клещи, предназначены для измерения тока, напряжения и мощности в цепях без нарушения их целости. Принцип действия клещей состоит в том, что ток измеряется трансформатором, вторичная обмотка которого замыкается на измерительную схему.



Рисунок 3.5 – Клещи электроизмерительные

Клещи типа Ц–91 (Рисунок 3.5) предназначены для измерения тока и напряжения в сетях с номинальным напряжением до 1000 В, они позволяют измерять токи до 500 А и напряжением до 600 В. Клещи состоят из двух частей: рабочей части – разъёмного магнитопровода; изолирующей части, являющейся одновременно корпусом прибора и ручкой–захватом.

3.3.3 УКАЗАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ. Указатели напряжения предназначены для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок (рисунки 3.6 и 3.7).

Указатели напряжения выше 1000 В. Указатели бывают контактного (с

электродом-наконечником) и бесконтактного типа. Указатели должны содержать рабочую, индикаторную, изолирующую части, а также рукоятку. Напряжение индикации указателя напряжения должно составлять не более 25% номинального напряжения электроустановки. При проверке отсутствия напряжения время непосредственного контакта рабочей части указателя с контролируемой токоведущей частью должно быть не менее 5 с (при отсутствии сигнала).

Указатели напряжения до 1000 В. Для проверки наличия или отсутствия напряжения в электроустановках напряжением до 1000 В применяются указатели двух типов: двухполюсные, работающие при протекании активного тока, и однополюсные - работающие при емкостном токе (Рисунок 3.7). Двухполюсные указатели предназначены для электроустановок переменного и постоянного тока, однополюсные - для электроустановок переменного тока.



1 – указатель напряжения УВНК-10Б на рабочее напряжение 6-10, 10-110, 35-330 кВ; 2 – указатель проверки совпадения фаз УПСФ-10 (на рабочее напряжение 3,6,10,15,20 кВ); 3 – указатель напряжения УНВЛ-0,4М для воздушных линий электропередачи (ВЛ) 0,4 кВ (позволяет с земли измерять напряжение на проводах ВЛ); 4 – индикатор тока ИТВЛ-0,4 для ВЛ 0,4 кВ (рабочий диапазон от 6 до 200А)

Рисунок 3.6 – Указатели напряжения

Двухполюсные указатели предназначены для электроустановок переменного и постоянного тока. Двухполюсные указатели состоят из двух корпусов, выполненных из электроизоляционного материала, содержащих элементы, реагирующие на наличие напряжения на контролируемых токоведущих частях, и элементы световой и (или) звуковой индикации.



а б

а – двухполюсный, б - однополюсный

Рисунок 3.7 – Указатели напряжения до 1000В

Применение контрольных ламп для проверки отсутствия напряжения запрещается в связи с опасностью их взрыва при ошибочном включении лампы, рассчитанной на напряжение 220 В, на линейное напряжение 380 В.

Однополюсный указатель имеет один корпус из электроизоляционного материала, в котором размещены электрод-наконечник и электрод для контакта с рукой оператора. Однополюсные указатели рекомендуется применять при проверке схем вторичной коммутации, определении фазного провода при подключении электросчетчиков, патронов, выключателей, предохранителей и т.п. При этом следует помнить, что во время проверки возможно свечение сигнальной лампы от наведенного напряжения. Перед применением исправность указателя проверяется на токоведущих частях, заведомо находящихся под напряжением. При пользовании однополюсным указателем напряжения во избежание неправильных показаний применение диэлектрических перчаток запрещается.

При проверке отсутствия напряжения время непосредственного контакта указателя с контролируемыми токоведущими частями должно быть не менее 5 с.

Перед использованием указателя необходимо убедиться в его работоспособности. Для этого необходимо проверить его в сети где точно имеется напряжение.

Эксплуатационные испытания указателей напряжения до 1000 В включают: определение напряжения индикации (должно быть не выше 90 В); измерение тока, протекающего через указатель при наибольшем рабочем напряжении; испытание изоляции повышенным напряжением.

3.3.4 ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЧАТКИ. Диэлектрические перчатки предназначены для защиты рук от поражения электрическим током. Применяются в электроустановках до 1000 В (маркировка перчаток *Эн*) в качестве основного изолирующего электрозащитного средства, а в электроустановках выше 1000 В (маркировка перчаток *Эв*) – дополнительного.

В электроустановках могут применяться перчатки из диэлектрической резины бесшовные (рисунок 3.8) или со швом, пятипалые или двупалые. Размер диэлектрических перчаток должен позволять надевать под них трикотажные перчатки в холодную погоду.

Перед применением перчатки следует осмотреть, обратив внимание на отсутствие механических повреждений, загрязнения и увлажнения, а также проверить наличие проколов путем скручивания перчаток в сторону пальцев.

При работе в перчатках их края не допускается подвертывать. Для защиты от механических повреждений разрешается надевать поверх перчаток кожаные или брезентовые перчатки и рукавицы. Перчатки, находящиеся в эксплуатации, следует периодически промывать содовым или мыльным раствором с последующей сушкой.



Рисунок 3.8 – Диэлектрические перчатки, боты и галоши

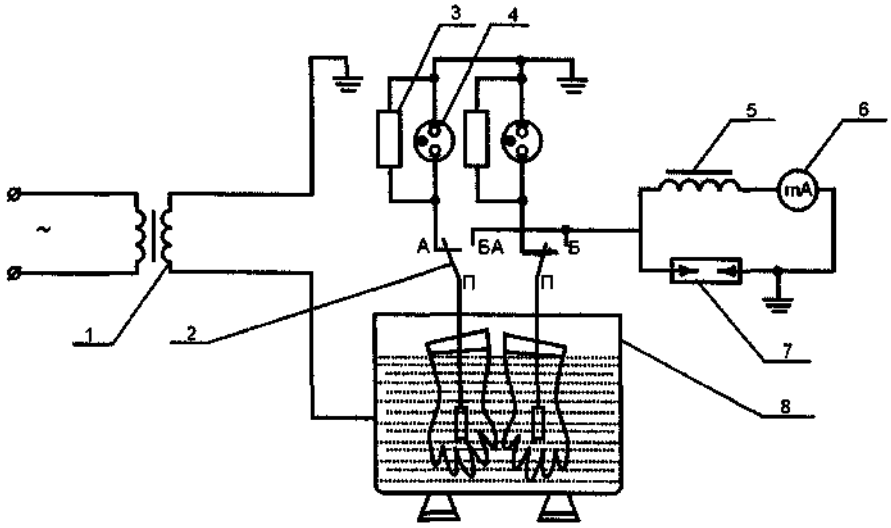
В процессе эксплуатации проводят электрические испытания перчаток (1 раз в 6 месяцев напряжением 6 кВ в течение 1 мин, при этом ток через перчатки не должен превышать 6 мА). Перчатки погружаются в ванну с водой при температуре (25±15)°С. Вода наливается также внутрь перчаток. Уровень воды как снаружи, так и внутри перчаток должен быть на 45-55 мм ниже их верхних краев, которые должны быть сухими. Испытательное напряжение (рисунок 3.9) подается между корпусом ванны и электродом, опускаемым в воду внутрь перчатки. По окончании испытаний перчатки просушивают. Перчатки бракуют при их пробое или при превышении током, протекающим через них, нормированного значения.

3.3.5 ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГАЛОШИ, БОТЫ (Рисунок 3.8). Обувь специальная диэлектрическая (галоши, боты) является дополнительным ЭЗС при работе в закрытых, а при отсутствии осадков – в открытых электроустановках. Кроме того, диэлектрическая обувь защищает работающих от напряжения шага.

Галоши применяют в электроустановках напряжением до 1000 В (маркировка *Эн*), боты –при всех напряжениях (маркировка *Эв*).

Галоши и боты должны состоять из резинового верха, резиновой рифленой подошвы, текстильной подкладки и внутренних усилительных деталей. Боты должны иметь отвороты.

Перед применением галоши и боты должны быть осмотрены с целью обнаружения возможных дефектов (отслоения облицовочных деталей или подкладки, наличие посторонних жестких включений и т.п.).



1 - испытательный трансформатор; *2* - контакты переключающие; *3* - сопротивление; *4* - газоразрядная лампа; *5* - дроссель; *6* - миллиамперметр; *7* - разрядник; *8* - ванна с водой

Рисунок 3.9 – Принципиальная схема испытания диэлектрических перчаток, бот и галош

3.3.6 РУЧНОЙ ИЗОЛИРУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ. К ручному изолирующему инструменту относится слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками (ключи гаечные, плоскогубцы, пассатижи, кусачки боковые и торцевые, отвертки, монтажные ножи и др.), применяемые для работы под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В в качестве основного электрозащитного средства (Рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 –Изолированный инструмент

Изолирующие рукоятки инструмента должны быть выполнены в виде диэлектрических чехлов, насаживаемых на ручки из неснимаемого однослойного или многослойного покрытия из изоляционного материала. Поверхность изоляционного покрытия не должна быть скользкой. Изоляция должна покрывать всю рукоятку и иметь длину не менее 100 мм. Упор должен иметь высоту не менее 10 мм, толщину - не менее 3 мм и не должен иметь острых кромок и граней. Толщина многослойной изоляции не должна быть более 2 мм, однослойной - 1 мм. Изоляция стержней отверток должна оканчиваться на расстоянии не более 10 мм от конца лезвия отвертки.

Инструмент с однослойной изоляцией в эксплуатации испытывается напряжением 2 кВ в течение 1 мин. Инструмент с многослойной изоляцией подвергается осмотру. При появлении нижнего слоя инструмент изымается

из эксплуатации.

Перед каждым применением проводится осмотр инструмента на предмет наличия раковин, трещин, сколов, вздутий и других дефектов. При хранении инструмента его следует оберегать от увлажнения и загрязнения.

3.3.7 ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОВРЫ И ИЗОЛИРУЮЩИЕ ПОДСТАВКИ (Рисунок 3.11). Ковры диэлектрические резиновые и подставки изолирующие применяются в качестве дополнительных электрозащитнывх средств в электроустановках напряжением до 1000 В. Ковры применяются в закрытых электроустановках всех напряжений, кроме особо сырых помещений, а в открытых электроустановках в сухую погоду. Ковры должны быть одноцветными и иметь рифленую поверхность.



Рисунок 3.11 – Диэлектрический коврик и изолирующая подставка

Изолирующие подставки применяются в сырых и подверженных загрязнению помещениях. Изолирующие подставки состоят из настила, укрепленного на опорных изоляторах высотой не менее 70 мм. Рекомендуется применять изоляторы типа СН-6, выпускаемые специально для изготовления подставок. Настил изготовляют из деревянных окрашенных планок. Настил размером не менее 50х50 см должен изготавливаться из деревянных планок, выструганных из хорошо просушенного дерева без сучков. Просветы между планками не должны превышать 3 см. Сплошные настилы применять не рекомендуется, т. к. они затрудняют проверку отсутствия случайного шунтирования изоляторов. Настил окрашивается со всех сторон масляной краской или покрывается лаком.

При эксплуатации ковры и подставки не испытывают. Их отбраковывают при осмотрах, проводимых для ковров 1 раз в 6 месяцев, а для подставок 1 раз в 3 года. Ковры и изолирующие подставки перед применением должны быть очищены от загрязнений, высушены и осмотрены на предмет отсутствия дефектов.

3.3.8 ПЕРЕНОСНЫЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ. Заземления переносные (рисунок 3.12) предназначены для защиты работающих на отключенных токоведущих частях электроустановок от ошибочно поданного или наведенного напряжения при отсутствии стационарных заземляющих ножей.

Заземления состоят из проводов с зажимами для закрепления их на токоведущих частях и струбцинами для присоединения к заземляющим проводникам. Провода заземлений должны быть гибкими, могут быть медными или алюминиевыми, неизолированными или заключенными в прозрачную защитную оболочку. Провода заземлений должны иметь сечение не менее 16

мм2 в электроустановках до 1000 В и не менее 25 мм2 в электроустановках выше 1000 В.

Переносные заземления для проводов ВЛ могут присоединяться к металлоконструкциям опоры, заземляющему спуску деревянной опоры или к специальному временному заземлителю (штырю, забитому в землю). Установку переносного заземления следует проводить снизу вверх, снятие в обратном порядке. Работать в диэлектрических перчатках с применением в электроустановках выше 1000 В изолирующей штанги.



1 – заземление для ВЛ до 1 кВ; 2 – заземление для В Л 110 кВ;
3 – заземление для РУ до 1 кВ; 4 – заземление для РУ до 15 кВ
Рисунок 3.12 – Переносные заземления для ВЛ и распределительных устройств подстанций (РУ) от 0,4 до 330 кВ

На каждом заземлении, должны быть обозначены номинальное напряжение электроустановки, сечение проводов и инвентарный номер (на одном из зажимов или на бирке). В процессе эксплуатации заземления осматривают не реже 1 раза в 3 месяца, а также непосредственно перед применением и после воздействия токов короткого замыкания. При обнаружении механических дефектов контактных соединений, обрыве более 5% проводников, их расплавлении заземления должны быть изъяты из эксплуатации.

3.3.9 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ (Рисунок 3.13).

Предохранительные пояса служат средством защиты от падения при работе на высоте на опорах линий электропередачи и на конструкциях или оборудовании открытых распределительных устройств электроустановок.

При работах, производимых вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением, на линиях электропередачи или в распределительных

устройствах следует применять пояс со стропой из ремня, капронового фала или хлопчатобумажной верёвки. Для работ, производимых на отключенных линиях электропередачи или распределительных устройств, а также вдали от напряжения, допускается применение поясов с цепью.



а б в г

д е ж

Рисунок 3.13 – Каска (а), очки защитные (б), когти (в) и лазы (г) монтерские, пояс монтерский (д), респиратор (е), комплект для защиты от электрической дуги (ж)

Если в процессе эксплуатации предохранительный пояс подвергся динамической нагрузке (при рывке в случае падения монтёра), пояс должен быть изъят из эксплуатации и до проведения испытания статической нагрузкой с целью проверки его целостности не должен использоваться. Пояс, детали которого получили какие–либо повреждения от динамической нагрузки, должен быть уничтожен.

Страховочный канат применяется как дополнительная мера безопасности. Пользование им обязательно в тех случаях, когда место работы находится на расстоянии, не позволяющем закрепиться стропой предохранительного пояса за опору или конструкцию.

Монтёрские когти служат для подъёма на опоры воздушных линий. Когти для подъёма на деревянные опоры представляют собой стальную серповидную скобу с шипами, которыми она сцепляется с деревянной опорой.

Для подъёма на металлические и бетонные опоры применяются лазы. У лазов для подъёма на круглые металлические и бетонные опоры вместо шипов на стальной серповидной скобе налёта толстая резиновая трубка, которая и создаёт сцепление с поверхностью столба. Для подъёма на бетонные опоры прямоугольного сечения применяются лазы, у которых скоба согнута под прямыми углами. Зацепление с опорой обеспечивается шипами, приваренными к скобе.

Когти и лазы перед использованием должны быть подвергнуты предварительному осмотру. Следует обратить внимание на исправность пряжек,

ремней, шипов, соединение стремени со скобой, отсутствие трещин и т. п. Конструкция когтей должна обеспечивать надёжное зацепление их за опору, исключающее соскальзывание и срыв когтей, как при подъёме, так и во время работы. Когти должны обладать высокой механической прочностью, исключающей поломку их деталей. Крепление их к ногам должно быть простым и надёжным; должна быть исключена возможность самопроизвольного расцепления и обрыва ремней.

К средствам индивидуальной защиты относятся: защитные очки, рукавицы, противогазы, каска электромонтажная, респираторы, комплект защиты от электрической дуги и т.д.

3.3.10 ПЛАКАТЫ И ЗНАКИ БЕЗОПАСНОСТИ (Рисунок 3.14). Плакаты и знаки безопасности предназначены:

– для запрещения действий с коммутационными аппаратами, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на место работы (запрещающие плакаты) – например, «Не включать, работа на линии»;

– для предупреждения об опасности приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением (предупреждающие знаки и плакаты) – например, «Не влезай – убъет»;

– для разрешения конкретных действий только при выполнении требований безопасности (предписывающие плакаты) – например, «Работать здесь»;

– для указания местонахождения объектов и устройств (указательный плакат «Заземлено»).

По характеру применения плакаты могут быть постоянными и переносными.

Нормы и сроки эксплуатационных электрических испытаний некоторых средств защиты даны в приложении 3-2.

3.4 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работы необходимо иметь:

– лабораторный стенд для контроля напряжения и тока;
– указатели напряжения;
– инструмент с изолирующими рукоятками;
– изолирующие и токоизмерительные клещи;
– изолирующие штанги;
– диэлектрические перчатки, боты и ковры;
– переносные заземления;
– изолирующие подставки и накладки;
– плакаты и знаки безопасности;
– монтёрские пояса, когти и лазы, каски.



Рисунок 3.14 – Знаки и плакаты безопасности

3.5 Требования охраны труда при проведении лабораторной работы

Схема для проверки и определения порога чувствительности указателей низкого напряжения собирается лаборантом или преподавателем. Категорически запрещается собирать ее студенту.

Запрещается самостоятельно включать лабораторный стенд в розетку.

3.6 Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию и назначение средств защиты, используемых при работе в электроустановках.

2. Изучить правила пользования, хранения и учета ЭЗС.

3. Изучить характеристику защитных средств, предлагаемых в данной работе.

4. Проверить исправность и работу указателя низкого напряжения. Для проверки наличия напряжения нужно контактами указателя напряжения коснуться двух разных фаз или полюсов.

5. Проверить порог отчётливого свечения лампы указателя напряжения, который должен быть не выше 90 В, для чего собрать схему, приведённую на рисунке 3.15

РНО–250–2А

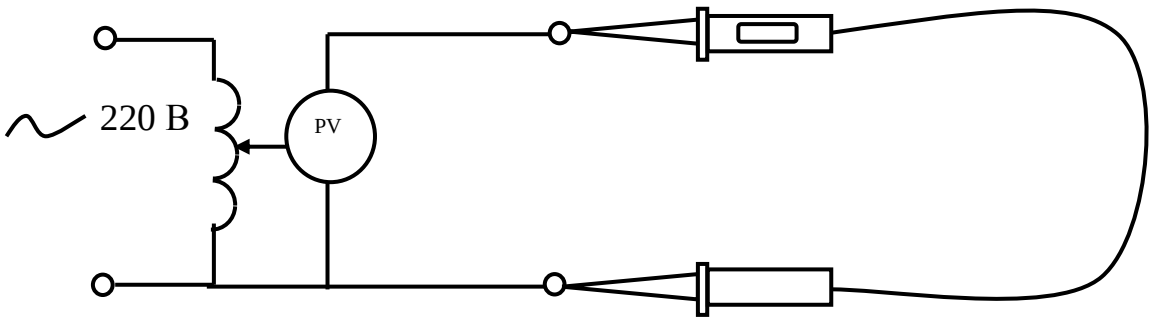


Рисунок 3.15 – Схема для проверки и определения порога чувствительности указателей низкого напряжения

3.7 Содержание отчёта

1 Классификация средств защиты, используемых при работе в электроустановках.

2. Классификация ЭЗС, для электроустановок напряжением до и выше 1000 В.

3. Правила пользования, хранения и учета ЭЗС.

4. Назначение, типы различных ЭЗС и особенности их эксплуатации.

5. Сроки испытаний ЭЗС.

6. Порог отчётливого свечения лампы указателя напряжения.

Контрольные вопросы при подготовке к лабораторной работе

1. Требования охраны труда при проведении лабораторной работы.

2. Дайте определение и назовите классы средств защиты, используемых при работе в электроустановках.

3. Дайте определение и назовите основные и дополнительные электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000 В.

4. Дайте определение и назовите основные и дополнительные электро-

защитные средства для электроустановок напряжением выше 1000 В.

5. Методика выполнения работы.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы

1. Дайте определение и назовите классы средств защиты, используемых при работе в электроустановках.
2. Дайте определение и назовите основные и дополнительные электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000 В.
3. Дайте определение и назовите основные и дополнительные электрозащитные средства для электроустановок напряжением выше 1000 В.
4. Каковы правила пользования, хранения и учета ЭЗС?
5. Охарактеризуйте ЭЗС (по заданию преподавателя).
6. Назовите сроки испытаний ЭЗС.

Приложение 3-1
Нормы комплектования средствами защиты (извлечение из СО 153-34.03.603-2003)

Наименование средств защиты	Количество
1	2
Распределительные устройства напряжением выше 1000 В	
Изолирующая штанга (оперативная или универсальная)	2 шт. на каждый класс напряжения
Указатель напряжения	То же
Изолирующие клещи (при отсутствии универсальной штанги)	1 шт. на каждый класс напряжения (при наличии соотв. предохранителей)
Диэлектрические перчатки	Не менее 2 пар
Диэлектрические боты (для ОРУ)	1 пара
Переносные заземления	Не менее 2 на каждый класс напряжения
Защитные ограждения (щиты)	Не менее 2 шт.
Плакаты и знаки безопасности (переносные)	По местным условиям
Противогаз изолирующий	2 шт.
Защитные щитки или очки	2 шт.
Распределительные устройства напряжением до 1000 В	
Изолирующая штанга (оперативная или универсальная)	По местным условиям
Указатель напряжения	2 шт.
Изолирующие клещи	1 шт.
Диэлектрические перчатки	2 пары
Диэлектрические галоши	2 пары
Диэлектрический ковер или изолирующая подставка	По местным условиям
Защитные ограждения, изолирующие накладки, переносные плакаты и знаки безопасности	То же
Защитные щитки или очки	1 шт.
Переносные заземления	По местным условиям
Щиты и пульты управления электростанций и подстанций, помещения (рабочие места) дежурных электромонтеров	
Указатель напряжения	1 шт. на каждый класс напряжения выше 1000 В и 2 шт. на напряжение до 1000 В
Изолирующие клещи на напряжение выше 1000 В (при отсутствии универсальной штанги)	1 шт. на каждый класс напряжения выше 1000 В (при наличии соответствующих предохранителей)
Изолирующие клещи на напряжение до 1000 В	1 шт.
Элетроизмерительные клещи	По местным условиям
Диэлектрические перчатки	2 пары
Диэлектрические галоши	2 пары
Изолирующий инструмент	1 комплект
Переносные заземления	По местным условиям
Диэлектрические ковры и изолирующие накладки	То же
Плакаты и знаки безопасности (переносные)	То же
Защитные каски	1 шт. на каждого работающего
Защитные щитки или очки	2 шт.
Респираторы	2 шт.

Продолжение приложения 3-1

Оперативно-выездные бригады, обслуживающие подстанции и распределительные сети	
1	2
Изолирующие штанги (оперативные или универсальные)	1 шт. на каждый класс напряжения
Указатели напряжения до и выше 1000 В	2 шт. на каждый класс напряжения
Сигнализаторы напряжения индивидуальные	1 шт. на каждого работающего на ВЛ
Изолирующие клещи на напряжение выше 1000 В (при отсутствии универсальной штанги)	1 шт. на каждый класс напряжения (при наличии соответствующих предохранителей)
Изолирующие клещи на напряжение до 1000 В	По местным условиям
Диэлектрические перчатки	Не менее 2 пар
Диэлектрические боты (для ОРУ)	2 пары
Изолирующий инструмент	1 комплект
Электроизмерительные клещи до и выше 1000 В	По местным условиям
Переносные заземления	По местн. условиям, но не менее 2 шт.
Диэлектрические ковры и изолирующие накладки	По местным условиям
Защитные щитки или очки	2 шт.
Плакаты и знаки безопасности (переносные)	По местным условиям
Указатель напряжения для проверки совпадения фаз	То же
Защитные каски	1 шт. на каждого работающего
Респираторы	По местным условиям
Предохранительный пояс	То же
Бригада эксплуатационного обслуживания подстанций, воздушных и кабельных линий	
Изолирующие штанги (оперативные или универсальные, измерительные)	1 шт. на каждый класс напряжения
Указатель напряжения выше 1000 В	1 шт. на каждый класс напряжения
Указатель напряжения до 1000 В	2 шт.
Сигнализатор напряжения индивидуальный	1 шт. на каждого работающего на ВЛ
Переносные заземления	По местным условиям, но не менее 2 шт.
Указатель напряжения для проверки совпадения фаз	По местным условиям
Диэлектрические перчатки	Не менее 2 пар
Диэлектрические боты	1 пара
Предохранительные пояса и страховочные канаты	По местным условиям
Защитные щитки или очки	2 пары
Защитный щиток для электросварщика	1 шт.
Изолирующий инструмент	2 комплекта
Диэлектрические ковры и изолирующие накладки	По местным условиям
Плакаты и знаки безопасности (переносные)	То же
Респираторы	То же
Защитные каски	1 шт. на каждого работающего
Передвижные высоковольтные лаборатории	
Указатель напряжения до и выше 1000 В	1 шт. на каждый класс напряжения
Изолирующая штанга (оперативная)	То же
Диэлектрические перчатки	2 пары
Диэлектрические боты	1 пара
Комплект плакатов безопасности	1
Диэлектрический ковер	Не менее 1
Защитные каски	1 шт. на каждого работающего

Приложение 3-2
Нормы и сроки эксплуатационных электрических испытаний средств защиты (извлечение из СО 153-34.03.603-2003)

Наименование средства защиты	Напряжение электроустановок, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность испытания, мин.	Ток, протекающий через изделие, мА, не более	Периодичность испытаний
Штанги изолирующие (кроме измерительных)	До 1 До 35	2 3-кратное линейное, но менее 40	5 5	- -	1 раз в 24 мес.
Изолирующие клещи	До 1 Выше 1 до 10	2 40	5 5	- -	1 раз в 24 мес.
Указатели напряжения до 1000 В					
изоляция корпусов	До 0,5 Выше 0,5 до 1	1 2	1 1	- -	1 раз в 12 мес.
проверка повышенным напряжением:					
- однополюсные	До 1	1,1 $U_{раб. наиб}$	1	-	
- двухполюсные	До 1	1,1 $U_{раб. наиб}$	1	-	
проверка тока через указатель:					
- однополюсные	До 1	$U_{раб. наиб}$	-	0,6	
- двухполюсные	До 1	$U_{раб. наиб}$	-	10	
напряжение индикации	До 1	Не выше 0,05	-	-	
Электроизмерительные клещи	До 1 Выше 1 до 10	2 40	5 5	- -	1 раз в 24 мес.
Перчатки диэлектрические	Все напряжения	6	1	6	1 раз в 6 мес.
Боты диэлектрические	Все напряжения	15	1	7,5	1 раз в 36 мес.
Галоши диэлектрические	До 1	3,5	1	2	1 раз в 12 мес.
Ручной изолирующий инструмент	До 1	2	1	-	1 раз в 12 мес.

Нормы и сроки эксплуатационных механических испытаний средств защиты (извлечение)

Наименование средства защиты	Испытание статической нагрузкой	Продолжительность испытания, мин	Нагрузка Н (кгс)	Периодичность испытаний
Предохранительные пояса и страховочные канаты	На разрыв	5	4000 (400)	1 раз в 6 мес.

Лабораторная работа №4.
Изучение устройства и принципа действия мультиметров

Цель работы: Научиться правильно, пользоваться мультиметром при измерении электрических величин

4.1 Общие положения

В процессе эксплуатации электрических установок возникает необходимость в контроле (измерении) различных электрических параметров. зачастую это необходимо для поддержания требуемого уровня безопасности.

Универсальным измерительным прибором является мультиметр.

Мультиме́тр (от англ. *multimeter*), те́стер (от англ. *test* — испытание), авóметр (от амперВольтомметр) — комбинированный электроизмерительный прибор, объединяющий в себе несколько функций.

В минимальном наборе включает функции вольтметра, амперметра и омметра. Иногда выполняется мультиметр в виде токоизмерительных клещей. Существуют цифровые и аналоговые мультиметры.

Мультиметр может быть как лёгким переносным устройством, используемым для базовых измерений и поиска неисправностей, так и сложным стационарным прибором со множеством возможностей.

Наиболее простые цифровые мультиметры имеют разрядность 2,5 цифровых разряда (точность обычно около 10 %). Наиболее распространены приборы с разрядностью 3,5 (точность обычно около 1,0 %). Выпускаются также чуть более дорогие приборы с разрядностью 4,5 (точность обычно около 0,1 %) и существенно более дорогие приборы с разрядностью 5 разрядов и выше. Точность последних сильно зависит от диапазона измерения и вида измеряемой величины, поэтому оговаривается отдельно для каждого поддиапазона. В общем случае точность таких приборов может превышать 0,01 %, несмотря на портативное исполнение.

Разрядность цифрового измерительного прибора, например, «3,5» означает, что дисплей прибора показывает 3 полноценных разряда, с диапазоном от 0 до 9, и 1 разряд – с ограниченным диапазоном. Так, прибор типа «3,5 разряда» может, например, давать показания в пределах от `0,000` до `1,999`, при выходе измеряемой величины за эти пределы требуется переключение на другой диапазон (ручное или автоматическое).

Типичная погрешность цифровых мультиметров при измерении сопротивлений, постоянного напряжения и тока менее ±(0,2 % +1 единица младшего разряда). При измерении переменного напряжения и тока в диапазоне частот 20 Гц…5 кГц погрешность измерения ±(0,3 %+1 единица младшего разряда). В диапазоне высоких частот до 20 кГц при измерении в диапазоне от 0,1 предела измерения и выше погрешность намного возрастает, до 2,5 % от измеряемой величины, на частоте 50 кГц уже 10 %. С повышением частоты повышается погрешность измерения.

Входное сопротивление цифрового вольтметра порядка 11 МОм (не зависит от предела измерения, в отличие от аналоговых вольтметров), ёмкость – 100 пФ, падение напряжения при измерении тока не более 0,2 В. Питание портативных мультиметров обычно осуществляется от батареи напряжением 9В. Потребляемый ток не превышает 2 мА при измерении постоянных напряжений и токов, и 7 мА при измерении сопротивлений и переменных напряжений и токов. Мультиметр обычно работоспособен при разряде батареи до напряжения 7,5 В.

Количество разрядов не определяет точность прибора. Точность измерений зависит от точности аналого-цифрового преобразователя, от точности, термо- и временной стабильности применённых радиоэлементов, от качества защиты от внешних наводок, от качества проведённой калибровки.

4.2 Устройство цифровых мультиметров

Разновидностей данных приборов очень много. В данной работе рассмотрим марки DT-830B и M890G.

Цифровой мультиметр состоит из:

– дисплей ж/к;

– переключатель многопозиционный;

– гнезда для подключения щупов;

– гнезда для подключения температурного щупа;

– гнезда для измерения емкости;

– панель для проверки транзисторов;

– задняя крышка(будет нужна для замены элемента питания прибора, элемент типа "Крона" 9 вольт).

Положения переключателей разделены на сектора:

OFF/on –выключатель питания прибора. В приборе M890G питание включается посредством отдельной кнопки.

DCV(V–) – измерение напряжения постоянного тока (вольтметр)

ACV(V~) – измерение напряжения переменного тока (вольтметр)

hFe – сектор включения измерения транзисторов. На приборе M890G он не обозначен.

DCA (A–) – измерение постоянного тока (амперметр).

A~ – измерение переменного тока (амперметр).

10A – сектор амперметра для измерения больших значений постоянного тока (по инструкции измерения проводятся в течение нескольких секунд).

 –сектор для проверки диодов.

Ω –сектор измерения сопротивления (омметр).

CX – сектор измерения емкости.

°C – измерение температуры.

FREO – измерение частоты.

Для подключения измерительных щупов имеются специальные гнезда. Гнездо «*COM*» общее для подключения щупов. Остальные гнезда подключаются в соответствии с надписями.

Сектор *DCV(V–)* разделен на 5 диапазонов. Проводятся измерения от 0 до 1000 вольт.

Этим прибором при больших напряжениях нужно работать крайне осторожно.

При включении DT-830B в положение ″1000″ вольт на экране в левом верхнем углу загорается предупреждение HV, о том, что включен самый верхний уровень измерения и при появлении больших значений, нужно быть предельно внимательным.



Обычно измерение напряжения ведется переключением больших положений диапазона на меньшие, если вы не знаете величину измеряемого напряжения. Например, перед измерением напряжения на аккумуляторной батарее сотового телефона или автомобиля, на которых написано максимальное напряжение 3 или 12 вольт, то необходимо ставить сектор в положение ″20″ вольт. Если поставить на меньший предел, например, на ″200″ милливольт прибор может выйти из строя. Если поставить на больший предел, то показания прибора будут менее точными.

Когда вы не знаете величину измеряемого напряжения (в рамках бытового электрооборудования, где оно не превышает величин прибора),тогда выставляем на верхнее положение *″1000″* вольт и делаем замер. Грубо замерять, с точностью до одного вольта, можно на положении *″1000″* вольт.

Если требуется большая точность, переключите на нижнее положение, только чтобы величина измеряемого напряжения не превышала значения на положении выключателя прибора.

Этот прибор удобен в измерении именно напряжения постоянного тока в том, что не требует обязательного соблюдения полярности. Если полярность щупов (″+″ – красный,″–″–черный) не будет совпадать с полярностью измеряемого напряжения, то в левой части экрана появится знак "–",а величина будет соответствовать измеряемой.

Сектор *ACV(V~)* имеет 2 положения для DT-830B) и 4 положения для M890G. Максимальный предел 750 Вольт.

С большой осторожностью обращайтесь с измерениями 220–380 вольт.

Порядок измерений и установки положений аналогичен сектору *DCV(V–)*.

Сектор *DCA (A–)* является миллиамперметром постоянного тока и

применяется для измерения маленьких токов, в основном в радиоэлектронных схемах.

Во избежание поломки прибора, не ставьте переключатель на этот сектор, если забудете и начнете измерять напряжение, то прибор выйдет из строя.

Пределы со знаком «*m*» позволяют измерять миллиамперы, со знаком «*μ*» – микроамперы.

Положение 10 А для измерения постоянного тока (амперметр). Измерения производятся с перестановкой провода из второго гнезда в гнездо 10 А. Измерение тока необходимо производить по возможности очень быстро.

В приборе M890G имеется сектор ***A~*** (амперметр) для измерения переменного тока.

Сектором (*Ω*) измеряют сопротивление путем прикладывания щупов к двум точкам, между которыми мы ходим измерить сопротивление.

Следует учесть, что мультиметр китайского производства не является точным прибором и погрешность его показаний довольно велика.

Во-вторых: непредсказуемая большая чувствительность при точных измерениях. В связи с этим, при замыкании щупов между собой, прибор указывает на сопротивление цепи, которой не следует пренебрегать, а считать её за сопротивление провода на щупах, т.е. при измерении маленьких сопротивлений из результата нужно отнять значение, полученное при замыкании щупов.

Например: замеряем сопротивление лампы, т.к. лампа имеет маленькое сопротивление, ставим в положение 200 Ом.

Сначала замкнем щупы между собой. Прибор показал 0,9 Ом – это значит мы и отнимем, после измерения нужного нам сопротивления. Замеряем на лампе, получаем 70,8 – 0,9 = 69,9 Ом.

Необходимо учесть, что показания приблизительны, но в случаях с бытовыми электроприборами этого достаточно.

Работа вверх по диапазону сектора не представляет ничего сложного. Если у вас на экране слева показана единица, то сопротивление больше, чем установленное положение переключателя, а если единица на экране при положении выключателя на максимальном пределе, то можно считать цепь оборванной. При появлении цифр имеет присутствие некое сопротивление в цепи. Сектор можно использовать для прозвонки проводов.

Сектор  **.** Одно положение для проверки диодов на пробой (на маленькое сопротивление) и на обрыв (бесконечное сопротивление). Принципы измерения основаны на работе Омметра. В приборе M890G имеется звуковая сигнализация. Сектор можно использовать для прозвонки проводников.

Сектор hFE. Для измерения транзисторов имеется панелька с указанием в какое гнездо, какую ножку транзистора помещать. Проверяются транзисторы обеих *n–p–n* и *p–n–p* проводимостей на пробой, обрыв и на большее отклонение от стандартных сопротивлений переходов.

Сектор *CX* служит для измерения емкости конденсаторов. Выводы конденсаторов подключаются к соответствующим гнездам. Пределы измере-

ния изменяются путем переключения положения переключателя от 20μ (20 микроФарад) до 2000P (2000 пикоФарад).

Сектор *°C* служит для измерения температуры. Температурный датчик необходимо подсоединять к соответствующим гнездам с учетом полярности.

Сектор *FREO* позволяет измерять частоту электрической сети.

4.3 Порядок выполнения работы

1. Произвести измерение напряжения батарейки. Сравнить с номинальным напряжением батарейки. При измерениях воспользоваться рисунком 4.3.
2. Произвести измерение напряжения электросети. Сравнить с напряжением сети 220 В. При измерениях воспользоваться рисунком 4.4.
3. Произвести измерение напряжение бытовой электрической лампочки (Рисунок 4.1). Сравнить с показаниями вольтметра на стенде.
4. Произвести измерения тока бытовой электрической лампочки (Рисунок 4.2). Сравнить с показаниями амперметра на стенде.
5. Произвести измерение частоты электрической сети. Сравнить с номинальной частотой сети 50 Гц.
6. Произвести измерение температуры окружающей среды.
7. Произвести измерение сопротивления обмоток трансформатора, резистора.
8. Произвести измерение емкости конденсатора. Сравнить с паспортными данными указанными на конденсаторе.
9. Произвести измерение сопротивление резистора. Сравнить с паспортными данными указанными на резисторе. При измерениях воспользоваться рисунком 4.5.
10. Определить начало и концы электрического кабеля.
11. Определить целостность электрической сети на примере электрического кабеля. Сделать выводы о целостности кабеля.

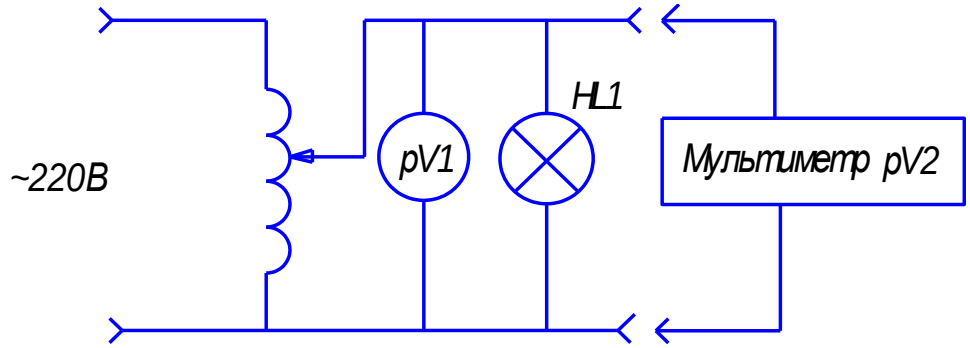


Рисунок 4.1 – Схема для измерения напряжения бытовой электрической лампочки

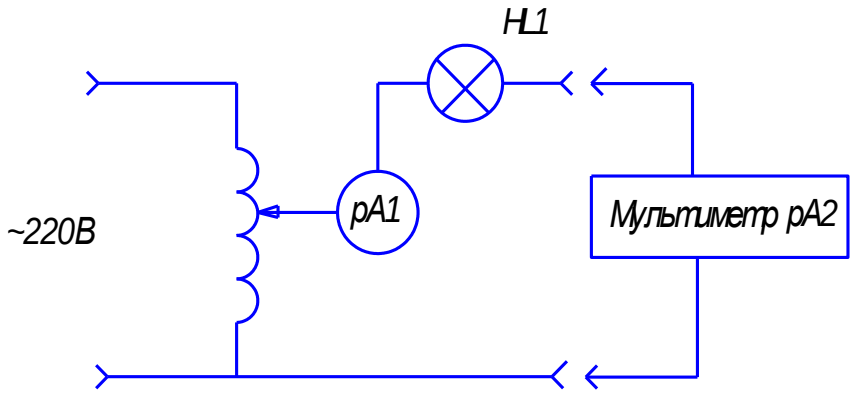


Рисунок 4.2 – Схема для измерения электрического тока бытовой электрической лампочки

Данные измерений представить таблицей 4.1.

Таблица 4.1 – Полученные измерения

Наименование измерения	M890G	D-T830B
Напряжение батарейки, В		
Напряжение электрической сети, В		
Частота сети, Гц		
Температура воздуха, ºС		
Сопротивление обмоток, Ом		
Сопротивление резистора, Ом		
Емкость конденсатора, Ф		
Ток лампочки, А		
Напряжение лампочки, В		

4.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать таблицу полученных измерений (таблица 4.1). Выводы по соответствующим пунктам измерений в разделе 4.3.

4.5 Требования охраны труда

Запрещается производить переключения многопозиционным переключателем во время измерения!

Категорически запрещается прикасаться к оголенным выводам мультиметра руками или другими частями тела.

Перед проведением измерений убедитесь в правильности подключения щупов и положении многопозиционного переключателя.

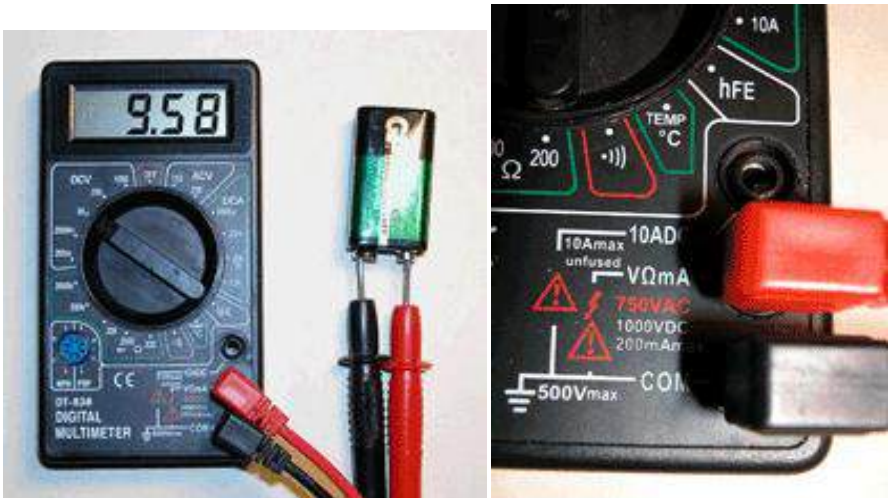


Рисунок 4.3 – Измерение напряжения батарейки



Рисунок 4.4 – Измерение напряжения электрической сети



Рисунок 4.5 – Измерение сопротивления резистора

Контрольные вопросы при подготовке к лабораторной работе

1. Требования охраны труда при проведении измерений.
2. Для чего предназначены мультиметры? Какие измерения ими можно производить?
3. Методика выполнения работы.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы

1. Назовите устройство мультиметров DT-830B и M890G.
2. Какие функции способны выполнять мультиметры DT-830B и M890G?
3. Как производить различные измерения при помощи мультиметров DT-830B и M890G (по заданию преподавателя)?
4. Какие меры предосторожности необходимо соблюдать при проведении измерений?

Лабораторная работа №5.
Электробезопасность в системах электроснабжения

Цель работы: изучить принцип действия технических средств обеспечения электробезопасности.

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

1. Все присоединения производить только при отключенном однофазном источнике питания.
2. При проведении измерений при помощи мультиметров обращать внимание на правильность подключения проводов в гнезда приборов и правильную установку переключателя режимов работы приборов.
3. Не прикасаться к оголенным токоведущим частям при проведении измерений и при включенном источнике питания.
4. Следует обратить внимание что при указании слова «смоделировать» подразумевается замыкание одним концом проводника соответствующего контакта непосредственно после включения стенда.

Приборы и оборудования

Для выполнения лабораторной работы используется комплект типового лабораторного оборудования (Рисунок 5.1), состоящего из следующих компонентов:

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения (УЗО)	321.1
Модель участка электрической сети	303.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

Назначение компонентов лабораторного стенда следующее.

Однофазный источник питания предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков учебных лабораторных комплексов.

Модель участка электрической сети предназначена для моделирования сопротивления изоляции и емкостей фазного и нулевого проводов электрической сети относительно земли.

Модель человека предназначена для моделирования сопротивления тела и обуви человека, а также пола, на котором он стоит.

Устройство защитного отключения предназначено для отключения однофазной электрической сети от источника питания при превышении током утечки заданного значения. Номинальный ток 16 А. Ток срабатывания 10 мА.

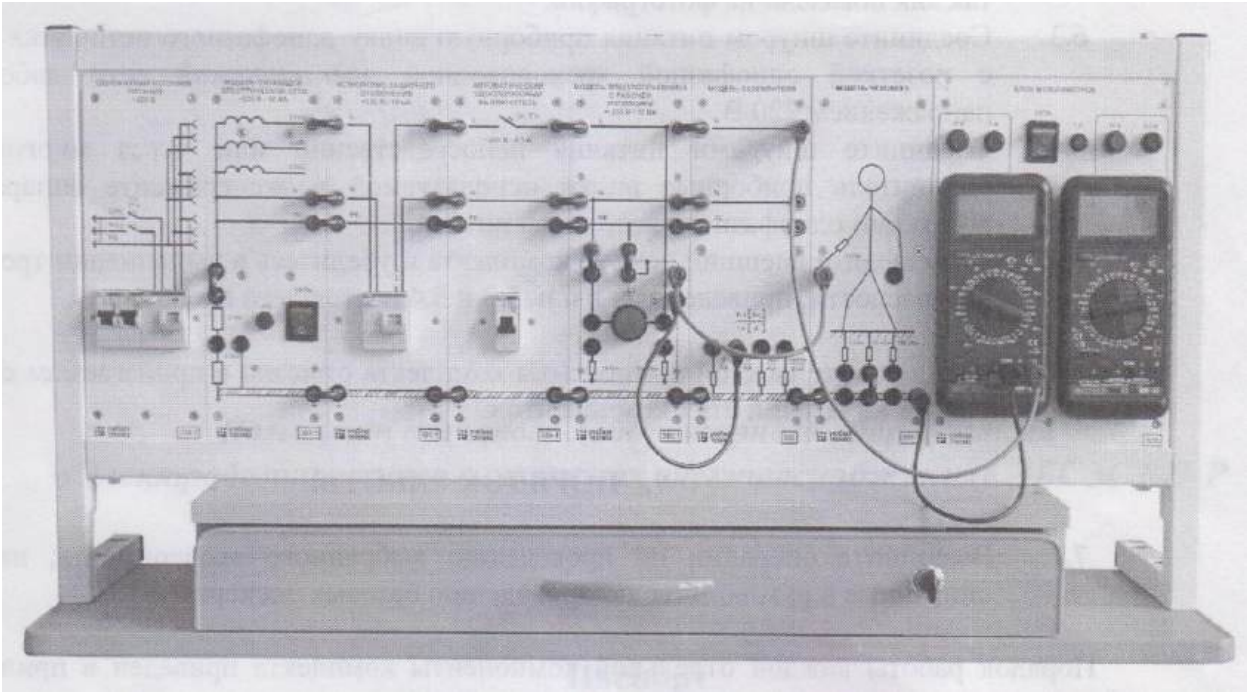


Рисунок 5.1 – Внешний вид лабораторного стенда

Автоматический однополюсный выключатель предназначен для коммутации электрических цепей. Номинальный ток 6 А.

Модель питающей электрической сети предназначена для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных компонентов лабораторного комплекса.

Модель электроприемника с рабочей изоляцией предназначена для моделирования однофазных потребителей активной мощности.

Модель заземлителя предназначена для моделирования процесса стекания тока с заземлителя в землю.

Блок мультиметров предназначен для измерения активного сопротивления, токов и напряжений элементов электрической цепи.

Однофазный источник питания подключается с тыльной стороны непосредственно от имеющейся электрической сети в аудитории при помощи имеющегося шнура питания. Модель питающей сети и блок мультиметров подключаются с тыльной стороны при помощи имеющихся однофазных шнуров питания. Соединение других компонентов производится при помощи имеющихся проводов и перемычек.

Контрольные вопросы при подготовке к лабораторной работе

1. Назначение компонентов лабораторного оборудования.

2. Составьте однофазную схему электрической сети с глухозаземленной нейтралью для измерения напряжения прикосновения и тока через тело

человека при прямом прикосновении к электрической сети по пути «рука-рука» и «рука-ноги».

Составьте однофазную схему электрической сети с глухозаземленной нейтралью для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением по пути «рука-ноги».

3. Составьте однофазную схему электрической сети с глухозаземленной нейтралью для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением по пути «рука-ноги». При этом корпус электроприемника должен быть занулен. Использовать РЕ-проводник.

Составьте однофазную схему электрической сети с глухозаземленной нейтралью с использованием УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при прямом прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему электрической сети с изолированной нейтралью для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги». При этом корпус электроприемника должен быть заземлен.

Составьте однофазную схему электрической сети с изолированной нейтралью для измерения тока утечки с фазы на землю.

4. Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при прямом прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги» при независимом заземлении корпуса электрооборудования.

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги» при независимом заземлении корпуса электрооборудования.

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C с УЗО и электроприемником с незаземленным корпусом.

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C с УЗО и электроприемником с незаземленным корпусом и повторным заземлением нулевого проводника.

5. Составьте однофазную схему с системой заземления TN-S с УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при прямом прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-S с УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-S с УЗО при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников.

6. Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C-S с УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при прямом прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C-S с УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему с системой заземления TN-C-S с УЗО при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников.

7. Составьте однофазную схему с системой заземления TT без УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему с системой заземления TT с УЗО для измерения напряжения прикосновения и тока через тело человека при косвенном прикосновении к электрической сети по пути «рука-ноги».

8. Составьте однофазную схему с системой заземления IT без УЗО для измерения напряжения между фазным проводом и землей.

Составьте однофазную схему с системой заземления IT с УЗО для измерения напряжения между фазным проводом и землей.

Составьте однофазную схему с системой заземления IT без УЗО для измерения напряжения прямого прикосновения к электрической сети по пути «рука-ноги».

Составьте однофазную схему с системой заземления IT без УЗО для измерения напряжения косвенного прикосновения к электрической сети по пути «рука-ноги».

9. Какие параметры оцениваются при определении опасности поражения человека электрическим током?

Выполнение работы

1. Изучить устройство лабораторного стенда и его компонентов.

2. Определение действия электрического тока на организм.

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

2.1. Собрать схему электрической сети с глухозаземленной нейтралью для проверки действия электрического тока через тело человека при прямом прикосновении к токоведущим частям под напряжением. Для этого подключите электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель к электрической сети. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Смоделируйте прямое прикосновение человека в электрическую сеть по пути тока через его тело «рука-рука». При этом измерить ток через тело че-

ловека и напряжение прикосновение. Включить человека в электрическую сеть по пути тока через его тело «рука-ноги». Провести измерения при различных значениях обуви, пола. Сделать выводы.

2.2. Собрать схему электрической сети с глухозаземленной нейтралью для проверки действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением. Для этого подключите электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель к электрической сети. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Смоделировать снижение сопротивления изоляции электроприемника между корпусом до 15 кОм. Смоделируйте прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-нога». Произвести измерение тока через тело человека и напряжения прикосновения. Провести измерения при различных значениях обуви, пола. Повторить опыт при сопротивлении изоляции 10 Ом. Сделать выводы.

3. Изучение мер защиты человека от поражения электрическим током (зануление, защитное заземление, устройство защитного отключения, электрическая изоляция).

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения	321.1
Модель участка электрической сети	303.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

3.1. Подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Смоделировать снижение сопротивления изоляции электроприемника между корпусом до 15 кОм. Смоделируйте прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-ноги». Произвести измерение тока через тело человека и напряжения прикосновения. Сопротивление обуви и пола взять произвольно.

Ничего не меняя в схеме произвести зануление корпуса электроприемника. Использовать защитный PE проводник. Смоделируйте прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-ноги». Произвести измерение тока через тело человека и напряжения прикосновения. Сделайте выводы о наличии и отсутствии защитного действия зануления.

3.2. Повторите опыт, смоделировав снижение сопротивления изоляции до 10 Ом. Сделайте выводы.

3.3. В качестве исходных данных использовать данные из опыта 2.1, для пути тока «рука-ноги» при каком-либо одном значении сопротивления обуви и пола. Включите вслед за автоматическим выключателем УЗО. РЕ-проводник не использовать. Смоделируйте прямое прикосновение человека в электрическую сеть по пути «рука-ноги». Сделайте выводы.

3.4. Подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель, модель участка электрической сети в сеть с изолированной нейтралью. Активное сопротивление нулевого рабочего проводника принять кОм. Смоделировать прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-нога». Смоделируйте снижение сопротивления изоляции электроприемника между корпусом до 10 Ом. Произвести измерение тока через тело человека и напряжения прикосновения при различных значениях обуви, пола.

Используя модель заземлителя, произвести заземление корпуса электроприемника. Смоделировать прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-нога». Смоделируйте снижение сопротивления изоляции электроприемника между корпусом до 10 Ом. Произвести измерение тока через тело человека и напряжения прикосновения при различных значениях сопротивления заземлителя. Сопротивление обуви и пола взять произвольно. Сделайте выводы.

3.5. Собрать схему с изолированной нейтралью через модель питающей сети, автоматический выключатель, модель участка электрической сети. Произвести измерение тока утечки с фазы на землю. Произвести уменьшение сопротивления изоляции фазы кОм. Сделайте выводы о состоянии изоляции.

4. Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-C.

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения	321.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

4.1. Смоделировать систему заземления TN-C для проверки действия электрического тока через тело человека при прямом прикосновении к токоведущим частям под напряжением. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Произвести заземление корпуса электроприемника через независимое заземление. Сопротивление заземления принять Ом. Смоделируй-

те прямое прикосновение человека к электрической сети по пути «рука-ноги». Сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты человека. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

4.2. Смоделировать систему заземления TN-C для проверки действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Произвести заземление корпуса электроприемника через независимое заземление. Сопротивление заземления принять Ом. Смоделировать прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-ноги». Смоделируйте снижение изоляции фазы электроприемника до 15 кОм. Сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты человека. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

4.3. Повторите опыт при снижении сопротивления изоляции фазы и нулевого рабочего проводника электроприемника до 10 Ом. Сделайте выводы.

4.4. Смоделировать систему заземления TN-C. Подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель, УЗО к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Смоделируйте заземление корпуса электроприемника через независимое заземление. Сопротивление заземления принять Ом. Сделайте выводы о целесообразности применения УЗО.

4.5. Для пункта 4.4 смоделируйте прямое прикосновение человека к электрической сети по пути «рука-ноги». Провести опыт при различных значениях обуви, пола. Сделать выводы.

4.6. Для пункта 4.4 произвести проверку действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением. Смоделировать снижение изоляции фазы электроприемника до 15 кОм. Провести измерение напряжения на корпусе электроприемника. Смоделируйте косвенное прикосновение человека по пути «рука-ноги». Сделайте выводы. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

4.7. Повторите измерения при снижении изоляции фазы электроприемника до 10 Ом. Сделайте выводы.

4.8. Для пункта 4.4 смоделировать проверку действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновение по пути «рука-ноги». Смоделируйте обрыв нулевого провода на участке от электроприемника до источника питания. Произвести измерения при различных сопротивлениях обуви и пола. Сделайте выводы.

4.9. Для пункта 4.8 выполнить измерения при повторном заземлении нулевого провода. Произвести измерения при различных значениях сопротивления повторного заземления. Сделать выводы.

5. Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-S.

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения	321.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

5.1. Смоделировать систему заземления TN-S для проверки действия электрического тока через тело человека при прямом прикосновении к токоведущим частям под напряжением. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель, УЗО к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Смоделируйте прямое прикосновение человека к электрической сети по пути «рука-ноги». Сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты человека. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

5.2. Смоделировать систему заземления TN-S для проверки действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель, УЗО к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Смоделировать прикосновение человека к корпусу электроприемника по пути «рука-ноги». Смоделируйте снижение изоляции фазы электроприемника до 15 кОм. Сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты человека. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

5.3. Повторите опыт при снижении сопротивления изоляции фазы и нулевого рабочего проводника электроприемника до 10 Ом. Сделайте выводы.

5.4. Смоделировать систему заземления TN-S. Проверить действие защиты при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников. Сделайте выводы.

5.5. Для пункта 5.2 смоделировать проверку действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновение по пути «рука-ноги». Смоделировать обрыв нулевого рабочего, затем защитного проводников на участке от электроприемника до источника питания. Смоделируйте косвенное прикосновение человека к электрической сети. Произвести измерения при различных сопротивлениях обуви и пола. Сделайте выводы.

6. Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-C-S.

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения	321.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

6.1. Смоделировать систему заземления TN-C-S для проверки действия электрического тока через тело человека при прямом прикосновении к токоведущим частям под напряжением. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, модель заземлителя, автоматический выключатель, УЗО к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Разделение нулевого провода на нулевой рабочий и нулевой защитный проводники произвести на модели заземлителя. Сопротивление заземления принять 10 Ом. Смоделируйте прямое прикосновение человека к электрической сети по пути «рука-ноги». Сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты человека. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

6.2. Для пункта 6.1 произвести проверку действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением. Смоделировать снижение изоляции фазы электроприемника до 15 кОм. Провести измерение напряжения на корпусе электроприемника. Смоделируйте косвенное прикосновение человека по пути «рука-ноги». Сделайте выводы. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви и пола.

6.3. Повторите опыт при снижении сопротивления изоляции фазы и нулевого рабочего проводника электроприемника до 10 Ом. Сделайте выводы.

6.4. Смоделировать систему заземления TN-C-S. Проверить действие защиты при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников. Сделайте выводы.

6.5. Для пункта 6.2 смоделировать проверку действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновение по пути «рука-ноги». Смоделировать обрыв общего нулевого, затем нулевого рабочего и затем защитного проводников на участке от электроприемника до источника питания. Смоделируйте косвенное прикосновение человека к электрической сети. Сделайте выводы.

7. Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления ТТ.

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения	321.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

7.1. Смоделировать систему заземления ТТ для проверки действия электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении к нетоковедущим частям оказавшимся под напряжением. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель, модель заземлителя к электрической сети с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление заземления нейтрали принять 4 Ома. Сопротивление заземления электроприемника принять 10 Ом. Смоделировать снижение изоляции фазы электроприемника до 15 кОм. Смоделируйте косвенное прикосновение человека к электрической сети по пути «рука-ноги». Сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты человека. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви, пола, и заземления электроприемника.

7.2. Повторите опыт при снижении сопротивления изоляции фазы и нулевого рабочего проводника электроприемника до 10 Ом. Сделайте выводы.

7.3. Повторите опыты с использованием УЗО. При этом смоделируйте снижение изоляции электроприемника, а не прикосновение человека.

7.4. Выполните опыты при обрыве нулевого проводника с УЗО и без него.

8. Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления IT.

Перечень оборудования

Наименование компонента	Тип
Однофазный источник питания	218.1
Модель питающей электрической сети	387.1
Автоматический однополюсный выключатель	359.1
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения (УЗО)	321.1
Модель участка электрической сети	303.1
Модель заземлителя	390
Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2

8.1. Смоделировать систему заземления IT. Для этого подключить электроприемник через модель питающей сети, автоматический выключатель, модель участка питающей сети, модель заземлителя к электрической сети с изолированной нейтралью. Сопротивление изоляции участка сети принять Ом, емкость мкФ. Сопротивление заземления электроприемника принять Ом. Включить вольтметр для измерения напряжения между фазным проводом источника питания и землей. Смоделируйте замыкание фазного проводника с землей (в целях безопасности замыкание произвести в обратном порядке – с земли на фазу). Сделайте измерения при различных сопротивлениях заземления электроприемника. Сделать выводы.

8.2. Повторить опыт с включением в сеть УЗО. Сделать выводы о целесообразности применения УЗО.

8.3. Для пункта 8.1 смоделировать прямое прикосновение человека в электрическую сеть. Подключить вольтметр и амперметр для измерения напряжения прикосновения и тока через человека по пути «рука-ноги». Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви, пола и заземления электроприемника. Сделать выводы.

8.4. Для пункта 8.1 смоделировать косвенное прикосновение человека в электрическую сеть. Подключить вольтметр и амперметр для измерения напряжения прикосновения и тока через человека по пути «рука-ноги». Смоделируйте снижение сопротивления изоляции фазного провода электроприемника до 10 Ом. Сделайте измерения при различных сопротивлениях обуви, пола и заземления электроприемника. Сделать выводы.

Содержание отчета

1. Электрические схемы измерений.
2. Полученные данные сопротивления, тока и напряжения прикосновения.
3. Выводы по проведенным опытам.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы

1. Чем прямое прикосновение в электрических сетях отличается от косвенного?
2. Заземление. Определение, принцип действия.
3. Зануление. Определение, принцип действия.
4. Защитное отключение. Определение, принцип действия.
5. Системы заземления. Схемы, буквенная расшифровка названия.
6. Пояснить проведенный опыт (по заданию преподавателя).

9 ЗАДАНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Задание 1.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 4.

Задание 2.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 170 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 2.

Задание 3.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 80 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1 м. Климатическая зона 3.

Задание 4.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 115 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,7 м. Климатическая зона 4.

Задание 5.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 56 Ом*м, нижнего слоя 105 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,3 м. Климатическая зона 4.

Задание 6.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 110 Ом*м, нижнего слоя 50 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 1.

Задание 7.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 50 Ом*м, нижнего слоя 95 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,5 м. Климатическая зона 1.

Задание 8.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 70 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,1 м. Климатическая зона 1.

Задание 9.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,6 м. Климатическая зона 2.

Задание 10.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 75 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 2.

Задание 11.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 30 Ом*м, нижнего слоя 125 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 2.

Задание 12.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 110 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,8 м. Климатическая зона 2.

Задание 13.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 45 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 2.

Задание 14.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 58 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 2.

Задание 15.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 96 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,6 м. Климатическая зона 2.

Задание 16.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,8 м. Климатическая зона 2.

Задание 17.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 35 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,1 м. Климатическая зона 3.

Задание 18.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1 м. Климатическая зона 3.

Задание 19.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 20 Ом*м, нижнего слоя 95 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,5 м. Климатическая зона 3.

Задание 20.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 160 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 3

Задание 21.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 34 Ом*м, нижнего слоя 150 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,6 м. Климатическая зона 3.

Задание 22.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 66 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 3.

Задание 23.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 55 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1 м. Климатическая зона 3.

Задание 24.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 60 Ом*м, нижнего слоя 65 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 3.

Задание 25.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 90 Ом*м, нижнего слоя 55 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,4 м. Климатическая зона 4.

Задание 26.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 68 Ом*м, нижнего слоя 107 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 4.

Задание 27.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 88 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,4 м. Климатическая зона 4.

Задание 28.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 80 Ом*м, нижнего слоя 124 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 4.

Задание 29.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 105 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 0,85 м. Климатическая зона 4.

Задание 30.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 4.

Задание 31.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 108 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,15 м. Климатическая зона 4.

Задание 32.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 100 Ом*м, нижнего слоя 135 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,2 м. Климатическая зона 4.

Задание 33.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 60 Ом*м, нижнего слоя 95 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1 м. Климатическая зона 1.

Задание 34.

Рассчитать повторное заземление РЕ-проводника на вводе в здание. Исходные данные: двухслойный грунт. Удельное сопротивление верхнего слоя 190 Ом*м, нижнего слоя 100 Ом*м. Толщина верхнего слоя 1,1 м. Климатическая зона 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Новисибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 6-й выпуск. – Новисибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 253с.

3. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – 8-е изд. – Новисибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 176с.

4. Салов В.П. Основы электробезопасности на производстве и в быту. – Нижний Новгород: Издательство «Вента – 2», 2004.

5. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

6. Вайнштейн Л.И. Меры безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

7. Гордон Г.Ю., Вайнштейн Л.И. Электротравматизм и его предупреждение. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

8. Таранов М.А., Хорольский В.Я., Привалов Е.Е. Электробезопасность сельских электроустановок. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра Принт», 2006.

9. Дацков И.И., Сорокин К.Ю. Электробезопасность в агропромышленном производстве – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003.

10. Шкрабак В.С., Луковников А.В., Тургиев А.К. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве – М.: КолосС, 2004.

11. Карякин Р.Н. Устройство безопасных электроустановок. – М.: Энергосервис, 2003.

12. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1998.

13. ГОСТ 12.1.009-76 ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.

14. ГОСТ 12.1.019-89 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

15. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

16. ГОСТ 12.2.007-76 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

17. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Организация обучения безопасности труда.

18. Найфельд М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности. – М.: Энергия, 1971.

19. Иванов Е.А., Галка В.П., Малоян К.Р. Безопасность электроустановок и систем автоматики. Учебное пособие. – СПб.: «Эльмор», 2003

20. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

21. Юндин М.А. Токовые защиты электрооборудования / Учебное пособие. – Зерноград: РИО ФГОУ ВПО АЧГАА, 2004 – 212 с.

22. «Инструкция по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ (в алфавитном порядке)

Термин	Определение
Влажные помещения.	Помещения, в. которых относительная влажность воздуха более 60%, но не превышает 75%.
Выравнивание потенциала.	Метод снижения напряжений прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек.
Глухозаземленная нейтраль.	Нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно.
Естественный заземлитель.	Заземлитель, в качестве которого используют электропроводящие части строительных и производственных конструкций и коммуникаций.
	Сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.
Заземление.	Преднамеренное электрическое соединение какой–либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.
Заземлитель.	Проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.
Заземляющий проводник.	Проводник, соединяющий заземляемые части (точку) с заземлителем.
Зануление.	Преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.
Защитное заземление.	Преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.
Защитное отключение.	Быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Термин	Определение
Зона растекания тока.	Зона земли, за пределами которой электрический потенциал, обусловленный токами замыкания на землю, может быть условно принят равным нулю.
	Зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.
Изолированная нейтраль.	Нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству.
Искусственный заземлитель.	Заземлитель, специально выполненный для целей заземления.
Линия электропередачи (ЛЭП).	Электрическая линия, выходящая за пределы электростанции или подстанции и предназначенная для передачи электроэнергии.
Малое напряжение.	Номинальное напряжение не более 50 В, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.
Напряжение прикосновения.	Напряжение между точками цепи тока, которых одновременно касается человек.
	Напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей
Напряжение шага.	Напряжение между двумя точками цепи тока, находящихся одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.
	Напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии1м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.
Неотпускающий ток.	Электрический ток, вызывающий при прохождении через человека, непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.
Нулевой защитный проводник PE.	Проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.
	Проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Термин	Определение
Нулевой рабочий (нейтральный) проводник N.	Проводник, соединенный с нейтральной точкой сети (нейтралью), и может быть использован для передачи электрической энергии.
	Проводник, используемый для питания приемников электрической энергии и соединения одного из их выводов с заземленной нейтралью электроустановки.
Однофазное прикосновение.	Прикосновение к одной фазе электроустановки, находящейся под напряжением.
Особо опасные помещения.	Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особая сырость, химически активная или органическая среда, одновременно два или более условий повышенной опасности.
Особо сырые помещения.	Помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).
Ощутимый ток.	Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения.
Помещения без повышенной опасности.	Помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
Помещения с повышенной опасностью.	Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость или токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, железобетонные, земляные, кирпичные, крашеные деревянные и т. п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.
Помещения с химически активной или органической средой.	Помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Термин	Определение
Пыльные помещения.	Помещения (с токопроводящей или нетокопроводящей пылью), в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п.
Рабочая изоляция.	Электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее нормальную работу и защиту от поражения электрическим током.
Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник PEN.	Проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.
Сухие помещения.	Помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60%.
Сырые помещения.	Помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75%.
Ток замыкания на землю.	Ток, проходящий через место замыкания на землю.
Трансформаторная подстанция.	Электрическая подстанция, предназначенная для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения с помощью трансформаторов.
Фибриляционный ток.	Электрический ток, который при прохождении через организм, вызывает фибриляцию сердца.
Электрическая подстанция.	Электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии.
Электрическая сеть.	Совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.
Электрическое замыкание на корпус.	Случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.
Электробезопасность.	Система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту человека или животного от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Термин	Определение
Электрозащитные средства.	Переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрической дуги и электромагнитного поля.
Электрооборудование.	Совокупность электрических устройств, объединенных общими признаками. Признаками объединения в зависимости от задач могут быть: назначение, например технологическое; условия применения, например в тропиках; принадлежность объекту, например станку, цеху.
Электропроводка.	Совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, установочными и защитными деталями, проложенных по поверхности или внутри конструктивных строительных элементов зданий и сооружений.
Электростанция.	Электроустановка, предназначенная для производства электрической или электрической и тепловой энергии, состоящая из строительной части, оборудования для преобразования различных видов энергии в электрическую или электрическую и тепловую, вспомогательного оборудования и электрических распределительных устройств.
Электротравма.	Травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.
Электротравматизм.	Явление, характеризующееся совокупностью электротравм.
Электроустановка действующая.	Электроустановка или ее часть, которая находится под напряжением, либо на которую напряжение может быть подано включением коммутационных аппаратов.
Электроустановка.	Совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Егорова Ирина Викторовна

Пятикопов Сергей Михайлович

Липкович Игорь Эдуардович

Петренко Надежда Владимировна

Электробезопасность

Учебное пособие

Редакция авторская

Объем ЭИ: 3,1 Мб
Формат ЭИ: Portable Document Format (PDF).

Вернуться к содержанию