

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 13.06.2022 21:35:06
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Доктинова
« 1 » 06 2022 г.



ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Методические рекомендации по выполнению практических работ
для студентов специальностей 13.03.02 Электроэнергетика и
электротехника

Курс 2022

УДК 621.(076.1)

Составители: А.Н. Горлов, И.В. Ворначева

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.В. Филонович*

Электробезопасность : методические рекомендации по выполнению практических занятий / Минобрнауки России, Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Н. Горлов, И.В. Ворначева – Курск, 2022. – 35 с.:– Библиогр.: с. 35.

Содержат сведения по вопросам электробезопасности, средствам защиты от электрических токов, расчета заземлений. Указывается порядок выполнения практических занятий, подходы к решению различных задач.

Методические рекомендации предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. 2,03 . Уч.-изд. л. 1,84.

Тираж 100 экз. Заказ . 1524 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 Выбор средств коллективной защиты

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 Методы и средства обеспечения электробезопасности

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 Средства защиты от статического электричества

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 Вычисление напряжения прикосновения и шагового напряжения

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 Расчет сопротивления заземления

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений дисциплине

«Электробезопасность» по специальности 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Создание и широкое применение промышленного электричества началось чуть более 100 лет назад, и сейчас без него невозможно представить жизнь современного человека. Но электрическая энергия с одинаковым успехом способна как выполнять полезную работу, так и причинять вред материальным ценностям, здоровью и жизни людей или животных.

Опасность электрической энергии возрастает в связи с тем, что она не имеет ни запаха, ни цвета, не обнаруживается органами чувств человека, пока он не окажется пораженным. С другой стороны, электрическая энергия может обладать большой мощностью, способной в доли секунды вызвать значительные разрушения, в том числе тканей живых организмов.

Поражающими факторами электричества могут стать не только электрический ток, но также электрическая дуга или переменное электромагнитное поле, которое вызывает в проводниках ток индукции. Под действием электрического тока, протекающего через тело человека или животного, происходят нагрев тела вследствие выделения джоулевой теплоты ($P=I^2R$), непроизвольное сокращение мышц (фибрилляция), повреждение нервных клеток, электролиз крови.

Установлено, что при электротравмах страдают не только отдельные органы человека, подвергшиеся действию электрического тока, но и вся центральная нервная система, что иногда приводит к внезапной смерти пострадавшего после, казалось бы, успешного лечения. Опасность такого исхода особенно велика, если в цепи тока оказались т.н. «акупунктурные зоны», обладающие пониженным по сравнению с другими участками кожи сопротивлением. Поэтому человека, перенесшего даже легкую электро- травму, следует считать тяжелым больным, требующим длительного медицинского контроля. Подтверждением этому является статистика - электротравматизм составляет 2-3% от производственного травматизма, но в то же время дает 12-18% всех смертельных случаев.

Следовательно, к обеспечению электробезопасности следует подходить со всей серьезностью, без неуважительного легкомыслия, т.е. соблюдать установленные правила и нормы, поскольку они составлены и приняты к исполнению во избежание повторений имевших место несчастных случаев.

Студент должен научиться ориентироваться в средствах защиты от поражения электрическим током при выполнении работ по обслуживанию, эксплуатации электроустановок энергосистем и освоить навыки практического расчета средств защиты от электропоражения и область их практического применения.

Практическая работа № 1

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ СРЕДСТВАМИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Цель: закрепить знания по обеспечению работников средствами индивидуальной защиты на производстве.

Знания и умения: знать классификацию средств индивидуальной защиты и уметь подобрать необходимые средства индивидуальной защиты работающего персонала

Актуальность темы: получить знания о назначении средств индивидуальной защиты работающих.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основные понятия:

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) работающих – средства индивидуального использования для предохранения работающего от действия опасных и вредных производственных факторов.

Средства индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.011-89) в зависимости от назначения подразделяют на классы:

- Костюмы изолирующие;
- средства защиты органов дыхания;
- одежда защитная специальная;
- средства защиты ног;
- костюмы изолирующие;
- средства защиты органов дыхания;
- одежда защитная специальная;
- средства защиты ног;
- средства защиты рук;
- средства защиты головы;
- средства защиты лица;
- средства защиты глаз;
- средства защиты органа слуха;
- средства защиты от падения с высоты и другие предохранительные средства;
- средства дерматологической защиты;
- средства защиты комплексные.

Средства индивидуальной защиты следует применять в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты.

Классификация средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.011-89):



- 1. Костюмы изолирующие:**
 - пневмокостюмы;
 - гидроизолирующие костюмы;
 - скафандры.
- 2. Средства защиты органов дыхания:**
 - противогазы;
 - респираторы;
 - самоспасатели;
 - пневмошлемы;
 - пневмомаски;
 - пневмокуртки.
- 3. Одежда специальная защитная:**
 - тулупы, пальто;
 - полупальто, полушубки;
 - накидки;
 - плащи, полуплащи;
 - халаты;
 - костюмы;
 - куртки, рубашки;
 - брюки, шорты;
 - комбинезоны, полукombинезоны;
 - жилеты;
 - платья, сарафаны;

- блузы, юбки;
- фартуки;
- наплечники.

4. Средства защиты ног:

- сапоги;
- сапоги с удлиненным голенищем;
- сапоги с укороченным голенищем;
- полусапоги;
- ботинки;
- полуботинки;
- туфли;
- бахилы;
- галоши;
- боты;
- тапочки (сандалии);
- унты, чувяки;
- щитки, ботфорты, наколенники, портянки.

5. Средства защиты рук:

- рукавицы;
- перчатки;
- полуперчатки;
- напальчники;
- наладонники;
- напульсники;
- нарукавники, налокотники.

6. Средства защиты головы:

- каски защитные;
- шлемы, подшлемники;
- шапки, береты, шляпы, колпаки, косынки, накомарники.

7. Средства защиты глаз:

- очки защитные.

8. Средства защиты лица:

- щитки защитные лицевые.

9. Средства защиты органа слуха:

- противошумные шлемы;
- противошумные вкладыши;
- противошумные наушники.

10. Средства защиты от падения с

высоты и другие предохранительные средства:

- предохранительные пояса, тросы;
- ручные захваты, манипуляторы;
- наколенники, налокотники, наплечники.

11. Средства дерматологические защитные:

- защитные;

- очистители кожи;
- репаративные средства.

12. Средства защиты комплексные Выбор конкретных моделей

СИЗ

№ п/п	Средства индивидуальной защиты	ГОСТ
1	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)	ГОСТ 12.4.034-2001; ГОСТ 12.4.174-87; ГОСТ Р ИСО 11611-2011; ГОСТ 12.4.028-76.
2	Средства индивидуальной защиты глаз и лица	ГОСТ 12.4.001-80; ГОСТ Р 12.4.230.1-2007 (ЕН 166-2002) ССБТ; ГОСТ 12.4.023-84; ГОСТ Р ЕН 379-2011 ССБТ; ГОСТ Р 12.4.238-2007.
3	Средства индивидуальной защиты органов слуха	ГОСТ Р 12.4.208-99; ГОСТ Р 12.4.209-99; ГОСТ Р 12.4.210-99.
4	Средства индивидуальной защиты головы	ГОСТ 12.4.087-84; ГОСТ 12.4.128-83.
5	Специальная защитная одежда	ГОСТ 12.4.016-83; ГОСТ 12.4.074-79; ГОСТ 12.4.073-79; ГОСТ 12.4.112-82.
6	Специальная защитная обувь	ГОСТ 12.4.127-83; ГОСТ 28507-90; ГОСТ 12.4.162-85; ГОСТ 12.4.032-77; ГОСТ 12.4.050-78; ГОСТ 12.4.024-76.
7	Средства защиты рук	ГОСТ 12.4.103-83ГОСТ; 12.4.204-89; ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ.

Порядок выполнения работы:

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться с основными понятиями.
3. На основании ГОСТ 12.4.011-89 подобрать необходимые средства индивидуальной защиты работающего персонала и конкретные модели СИЗ с указанием маркировки, с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов.
4. Отчет подготовить в виде таблицы № 1.

5. Заполнить личную карточку учета выдачи СИЗ на основании типовых (типовых отраслевых) норм.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица № 1.

Наименование профессии (должности)	Наименование производственного фактора	Средства индивидуальной защиты

Лицевая сторона личной карточки

ЛИЧНАЯ КАРТОЧКА №
Учета выдачи СИЗ

Фамилия _____ Пол _____
 Имя _____ Отчество _____ Рост _____
 Табельный номер _____ Размер одежды _____
 Структурное подразделение _____ Обувь _____
 Профессия (должность) _____ Головного убора _____
 Дата поступления на работу _____ Противогаза _____
 Дата изменения профессии (должности) или перевода в другое структурное подразделение _____ Респиратора _____
 Рукавиц _____
 Перчаток _____

Предусмотрена выдача: _____
 (Наименование типовых (типовых отраслевых) норм)

Наименование СИЗ	Пункт типовых норм	Единица измерения	Количество на год

Руководитель структурного подразделения _____

(Фамилия, инициалы)(подпись)

Оборотная сторона личной карточки

Наименование СИЗ	Сертификат соответствия №	Выдано				Возвращено				
		дата	Кол-во	% износа	Расписка в получении	дата	Кол-во	% износа	Расписка сдавшего	Расписка в приеме
1	2	3	4	5	6					

Согласно «**Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ППБ-С 1984)**» при работах в электроустановках следует при необходимости применять такие средства индивидуальной защиты, как *очки, каски, противогазы, рукавицы, одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги), предохранительные монтерские пояса и страховочные канаты.*

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются средства индивидуальной защиты работающих?
2. Назначение средств индивидуальной защиты работающих.
3. Классификация СИЗ по защитному назначению.
4. Как подобрать средства индивидуальной защиты при эксплуатации электроустановок потребителей?

Практическая работа № 2

ВЫБОР СРЕДСТВ КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ

Цель: закрепить знания по выбору средств коллективной защиты работающих с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов.

Знания и умения: знать классификацию средств коллективной защиты и уметь подбирать необходимые средства коллективной защиты работающих с электроустановками с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов

Актуальность темы: получить знания о средствах защиты в электроустановках.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Материально-техническое обеспечение практической работы: Наглядные пособия относящиеся к средствам защиты при работе с электроустановками: знаки безопасности, оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения.

Использование наглядности, ТСО и дидактического материала:

ПК, проектор, экран. Презентация PowerPoint – «Средства коллективной защиты на предприятиях», справочная литература, раздаточный материал.

Основные понятия

Средства защиты работающих – технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на

работников вредных и опасных производственных факторов, а также защиты от загрязнения.

Выбор средств коллективной защиты должен происходить в соответствии с ГОСТ 12.4.011-89.

Средства коллективной защиты в зависимости от назначения подразделяют на классы:

- средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест (от повышенного или пониженного барометрического давления и его резкого изменения, повышенной или пониженной влажности воздуха, повышенной или пониженной ионизации воздуха, повышенной или пониженной концентрации кислорода в воздухе, повышенной концентрации вредных аэрозолей в воздухе);

- средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест (пониженной яркости, отсутствия или недостатка естественного света, пониженной видимости, дискомфорта или слепящей блескости, повышенной пульсации светового потока, пониженного индекса цветопередачи);

- средства защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений;

- средства защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений;

- средства защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений;

- средства защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений;

- средства защиты от повышенной напряженности магнитных и электрических полей;

- средства защиты от повышенного уровня лазерного излучения;

- средства защиты от повышенного уровня шума;

- средства защиты от повышенного уровня вибрации (общей и локальной);

- средства защиты от повышенного уровня ультразвука;

- средства защиты от повышенного уровня инфразвуковых колебаний;

- средства защиты от поражения электрическим током;

- средства защиты от повышенного уровня статического электричества;

- средства защиты от повышенных или пониженных температур поверхностей оборудования, материалов, заготовок;

- средства защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов;

- средства защиты от воздействия механических факторов (движущихся машин и механизмов; подвижных частей производственного оборудования и инструментов; перемещающихся изделий, заготовок,

материалов; нарушения целостности конструкций; обрушивающихся горных пород; сыпучих материалов; падающих с высоты предметов; острых кромок и шероховатостей поверхностей заготовок, инструментов и оборудования; острых углов);

- средства защиты от воздействия химических факторов;
- средства защиты от воздействия биологических факторов;
- средства защиты от падения с высоты.

Средства коллективной защиты работающих конструктивно должны быть соединены с производственным оборудованием или его элементами управления таким образом, чтобы, в случае необходимости, возникло принудительное действие средства защиты.

Допускается использовать средства коллективной защиты в качестве элементов управления для включения и выключения производственного оборудования

Средства коллективной защиты работающих должны быть расположены на производственном оборудовании или на рабочем месте таким образом, чтобы постоянно обеспечивалась возможность контроля его работы, а также безопасность ухода и ремонта

**Средства коллективной защиты
(ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация)**

1. К средствам нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест относятся устройства для: поддержания нормируемой величины барометрического давления; вентиляции и очистки воздуха;

кондиционирования воздуха; локализации вредных факторов; отопления;

автоматического контроля и сигнализации; дезодорации воздуха.

2. К средствам нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест относятся:

источники света; осветительные приборы; световые проемы; светозащитные устройства; светофильтры.

3. К средствам защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений относятся:

оградительные устройства; предупредительные устройства; герметизирующие устройства; защитные покрытия;

устройства улавливания и очистки воздуха и жидкостей;

средства дезактивации;

устройства автоматического контроля; устройства дистанционного управления;

средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ;

знаки безопасности;

емкости радиоактивных отходов.

4. К средствам защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений относятся устройства:

оградительные; герметизирующие; теплоизолирующие;
вентиляционные;
автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления;
знаки безопасности.

5. К средствам защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений относятся устройства:

оградительные;
для вентиляции воздуха;
автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления;
знаки безопасности.

6. К средствам защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений относятся:

оградительные устройства; защитные покрытия; герметизирующие устройства;
устройства автоматического контроля и сигнализации; устройства дистанционного управления;
знаки безопасности.

7. К средствам защиты от повышенной напряженности магнитных электрических полей относятся:

оградительные устройства; защитные заземления;
изолирующие устройства и покрытия; знаки безопасности.

8. К средствам защиты от повышенного уровня лазерного излучения относятся:

оградительные устройства; предохранительные устройства;
устройства автоматического контроля и сигнализации; устройства дистанционного управления;
знаки безопасности.

К средствам защиты от повышенного уровня шума относятся устройства:

оградительные;
звукоизолирующие, звукопоглощающие; глушители шума;
автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

9. К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства:

оградительные;
виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие;
автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

10. К средствам защиты от повышенного уровня ультразвука относятся устройства:

оградительные;

звукоизолирующие, звукопоглощающие; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

11. К средствам защиты от повышенного уровня инфразвуковых колебаний относятся:

оградительные устройства; знаки безопасности.

12. К средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

оградительные устройства;

устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия;

устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения;

устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения; устройства дистанционного управления;

предохранительные устройства; молниеотводы и разрядники; знаки безопасности.

13. К средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

заземляющие устройства; нейтрализаторы; увлажняющие устройства; антиэлектростатические вещества; экранирующие устройства.

14. К средствам защиты от пониженных или повышенных температур поверхностей оборудования, материалов и заготовок относятся устройства:

оградительные;

автоматического контроля и сигнализации;

термоизолирующие;

дистанционного управления.

15. К средствам защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов относятся устройства:
оградительные;

автоматического контроля и сигнализации; термоизолирующие;

дистанционного управления;

для радиационного обогрева и охлаждения.

16. К средствам защиты от воздействия механических факторов относятся устройства:

оградительные;

автоматического контроля и сигнализации; предохранительные;

дистанционного управления; тормозные;

знаки безопасности.

17. К средствам защиты от воздействия химических факторов относятся устройства:

оградительные;

автоматического контроля и сигнализации; герметизирующие;

для вентиляции и очистки воздуха; для удаления токсичных веществ;

дистанционного управления; знаки безопасности.

18. К средствам защиты от воздействия биологических факторов относятся:

оборудование и препараты для дезинфекции, дезинсекции, стерилизации, дератизации;

оградительные устройства; герметизирующие устройства; устройства для вентиляции и очистки воздуха; знаки безопасности.

19. К средствам защиты от падения с высоты относятся:

ограждения; защитные сетки; знаки безопасности.

Средства защиты в электроустановках

Электроззащитные средства — (предметы), которые служат для защиты людей от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги или электромагнитного поля при работах в электроустановках.

Основные термины, принятые в Правилах

Термин	Определение
Средства защиты	Средство, применение которого предотвращает или уменьшает воздействие на одного или более работающих опасных и (или) вредных производственных факторов
Электроззащитные средства	Средства служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля
Основные электроззащитные средства	Средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановок и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением
Дополнительные электроззащитные средства	Средства защиты, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения током, а применяются совместно с основными электроззащитными средствами
Напряжение шага	Напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек
Согласно «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ППБ-С 1984)» при работах в электроустановках к электроззащитным средствам относятся: изолирующие штанги (оперативные, для наложения заземления, измерительные), изолирующие (для операций с предохранителями) и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, указатели напряжения для фазировки и т. д.;	

- изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ под напряжением выше 1000 В и слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками для работы в электроустановках напряжением до 1000 В;

- диэлектрические перчатки, боты, галоши, ковры, изолирующие накладки и подставки;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- переносные заземления;
- оградительные устройства и диэлектрические колпаки;
- плакаты и знаки безопасности.

К **основным** электрозащитным средствам для работы в электроустановках напряжением выше 1000 В относятся:

- изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, указатели напряжения для фазировки;

- изолирующие устройства и приспособлений для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.)

Изолирующие части основных средств защиты должны быть выполнены из электроизоляционных материалов с устойчивыми диэлектрическими свойствами (из фарфора, бумажно-бакелитовых труб, эбонита, гетинакса, древеснослоистых пластиков, пластических и стеклоэпоксидных материалов и т. д.).

Материалы, поглощающие влагу (бумажно-бакелитовые трубы, дерево и др.), должны быть покрыты влагостойким лаком и иметь гладкую поверхность без трещин, расслоений и царапин.

К **дополнительным** электрозащитным средствам, применяемым в электроустановках напряжением выше 1000 В, относятся:

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- диэлектрические колпаки;
- переносные заземления;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

К **основным** электрозащитным средствам, применяемым в электроустановках напряжением до 1000 В, относятся:

- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;

- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками. К **дополнительным** электрозащитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Выбор необходимых средств защиты при оперативных переключениях и других работах регламентируется настоящими Правилами "ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей" и другими соответствующими нормативно-техническими документами, а также определяется местными условиями на основании требований этих документов. При использовании основных средств защиты достаточно применения одного дополнительного, за исключением случаев освобождения пострадавшего от тока в электроустановках, когда для защиты от напряжения шага необходимо применять также боты или галоши.

Средство защиты должно быть рассчитано на применение при наибольшем допустимом рабочем напряжении электроустановки (ГОСТ 1516.1-76 и 20690-75).

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться с основными понятиями.
3. На основании ГОСТ 12.04.011-89 подобрать необходимые средства коллективной защиты работающих с электроустановками с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов
4. Отчет оформить в виде таблиц.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1

Наименование профессии (должности)	Наименование производственного фактора	Средства коллективной защиты

Таблица 2

Основные электрозащитные средства для работы в электроустановках напряжением выше 1000 В	Дополнительные электрозащитные средства, применяемые в электроустановках напряжением выше 1000 В

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются средства защиты работающих?
2. Назначение средств защиты работающих.
3. Принцип выбора средств коллективной защиты работающих.
4. Перечислите средства коллективной защиты работающих от действия электрического тока.

Практическая работа № 3

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Цель: Овладение основными методами и средствами обеспечения безопасности при эксплуатации электроустановок и защита от неблагоприятного действия электричества

Знания и умения: знать средства защиты, используемые в электроустановках, требования к их испытанию, содержанию и применению и уметь подобрать изолирующие электрозащитные средства

Актуальность темы: получить знания об основных и дополнительных средствах защиты работающих в электроустановках

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Материально-техническое обеспечение практической работы: Наглядные пособия относящиеся к средствам индивидуальной и коллективной защиты при работе с электроустановками: знаки безопасности, оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; перчатки и боты диэлектрические.

Использование наглядности, ТСО и дидактического материала:

ПК, проектор, экран. Презентация PowerPoint–Средства индивидуальной защиты на предприятиях», –Средства коллективной защиты на предприятиях», справочная литература, раздаточный материал.

Основные понятия

Электробезопасность- система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества (ГОСТ 12.1.009-82. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения)

Электрическая безопасность включает в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Требования электробезопасности изложены в Межотраслевых правилах по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей, ГОСТах и других нормативных правовых актах.

Требования, содержащиеся в этих актах, распространяются на всех Потребителей, работников всех организаций, независимо от форм собственности и организационно-правовых форм, а также на физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих в электроустановках монтажные, наладочные, ремонтные и строительные

работы, испытания и измерения (электротехнический персонал).

Потребитель – организации всех форм собственности и организационно - правовых форм, индивидуальные предприниматели и граждане (владельцы электроустановок напряжением выше 1000 В), эксплуатирующие действующие электроустановки напряжением до 220 кВ включительно (ПТЭЭП п.1.1.2).

Электроустановка - совокупность аппаратов, машин, приспособлений, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенная для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с использованием электрической энергии.

Факторами опасного и вредного воздействия на человека, связанными с использованием электрической энергии, являются:

протекание электрического тока через организм человека; воздействие электрической дуги;

воздействие биологически активного электрического поля; воздействие биологически активного магнитного поля; воздействие электростатического поля;

воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ).

Биологически активными являются электрические и магнитные поля, напряженность которых превышает предельно допустимые уровни (ПДУ) – гигиенические нормативы условий труда.

Опасные и вредные последствия для человека от воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического и магнитного полей, электростатического поля и ЭМИ проявляются в виде электротравм, механических повреждений и профессиональных заболеваний. Степень воздействия зависит от экспозиции фактора, в том числе: рода и величины напряжения и тока, частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока или электрического и магнитного полей на организм человека, условий внешней среды

Средства и способы защиты человека от поражения электрическим током сводятся к следующему:

- уменьшению рабочего напряжения электроустановок;
- выравниванию потенциалов (заземление, зануление);
- электрическому разделению цепей высоких и низких напряжений;

- увеличению сопротивления изоляции токоведущих частей (рабочей, усиленной, дополнительной, двойной и т. п.);

- применению устройств защитного отключения и средств

коллективной защиты (оградительных, блокировочных, сигнализирующих устройств, знаков безопасности и т. п.), а также изолирующих средств защиты.

Структура классов напряжения

- Ультравысокий класс напряжения – от 1000 кВ.
- Сверхвысокий класс напряжения – от 330 кВ до 750 кВ;
- Высокий класс напряжения – от 110 кВ до 220 кВ;
- Средний класс напряжения – от 1 кВ до 35 кВ;
- Низший класс напряжения – до 1 кВ

Средства защиты

Классификация и перечень средств защиты для работы в электроустановках, требования к их испытаниям, содержанию и применению установлены

«Инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках», утвержденной приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г № 261 (СО 153-34.03.603-2003)

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством (ПУЭ 1.7.28).

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя/ заземлителей и заземляющих проводников (ПУЭ 1.7.19).

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом (ПУЭ 1.7.15).

Сопrotивление заземления - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю (ПУЭ 1.7.26)

Защитное заземление

Это заземление, выполняемое в целях электробезопасности (ПУЭ 1.7.29). Защитное заземление обеспечивает защиту электроустановки и оборудования, а также защиту людей от воздействия опасных напряжений и токов, могущих возникнуть при поломках, неправильной эксплуатации техники (т.е. в АВАРИЙНОМ режиме) и при разрядах молний. Также защитное заземление используется для защиты аппаратуры от помех при коммутациях в питающей сети и интерфейсных цепях, а также от электромагнитных помех, наведенных от работающего рядом оборудования. Подробнее защитное назначение заземления можно рассмотреть на двух примерах:

- в составе внешней молниезащитной системы в виде заземленного молниеприёмника
- в составе системы защиты от импульсного перенапряжения
- в составе электросети объекта

Зануление — это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок, не находящихся в нормальном состоянии под напряжением, с глухозаземлённой нейтральной точкой генератора или трансформатора, в сетях трёхфазного тока; с

глухозаземлённым выводом источника однофазного тока; с заземлённой точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Защитное зануление является основной мерой защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью. Принцип работы зануления: если напряжение (фазовый провод) попадает на соединённый с нулем металлический корпус прибора, происходит короткое замыкание. Сила тока в цепи при этом увеличивается до очень больших величин, что вызывает быстрое срабатывание аппаратов защиты (автоматические выключатели, плавкие предохранители), которые отключают линию, питающую неисправный прибор. В любом случае, ПУЭ регламентируют время автоматического отключения поврежденной линии. Для номинального фазного напряжения сети 380/220 В оно не должно превышать 0,4 с

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться со средствами защиты, используемыми в электроустановках, требованию к их испытанию, содержанию и применению.
3. Подобрать изолирующие электрозащитные средства (основные и дополнительные, СИЗ) для указанного вида работ.
4. Результат представить в виде таблицы.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица

Наименование производственного объекта	Средства защиты основные	Средства защиты дополнительные
Участок ремонта электрооборудования (наладка, ремонт, регулирование электрических схем технологического оборудования напряжением 1 Кв)		
Участок ремонта высоковольтного оборудования (ремонт, испытание, регулирование электрооборудования напряжением 500 кВ)		
Разборка, ремонт и сборка электрооборудования закрытых распределительных устройств напряжением до 10 кВ, капитальный ремонт, технический осмотр трансформаторов общего назначения напряжением до 35 кВ		
ЛЭП. Обслуживание высоковольтной линии электропередачи.		
Зарядка аккумуляторных батарей.		
Пульт управления электростанцией		
Линии электропередачи напряжением 20 кВ – верховые осмотры, составление схем и паспортов, наладывание заземления, устройство оттяжек		

Контрольные вопросы

1. Классификация средств защиты, используемых в электроустановках.
2. Средства и способы защиты человека от поражения электрическим током.
3. Назначение электротехнических средств
4. Принципиальное различие между заземлением и занулением.

Практическая работа № 4 СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Цель: закрепить знания по обеспечению работников средствами защиты от статического электричества на производстве

Знания и умения: знать методы и средства защиты от статического электричества

Актуальность темы: изучить профилактические мероприятия предупреждающие опасные проявления скопившихся электрических зарядов

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Статическое электричество — совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или на изолированных проводниках.

Происхождение

Электризация диэлектриков трением может возникнуть при соприкосновении двух разнородных веществ из-за различия атомных и молекулярных сил (из-за различия работы выхода электрона из материалов). При этом происходит перераспределение электронов (в жидкостях и газах ещё и ионов) с образованием на соприкасающихся поверхностях электрических слоёв с равными знаками электрических зарядов. Фактически атомы и молекулы одного вещества, обладающие более сильным притяжением, отрывают электроны от другого вещества. Создавая вихревое движение ионов среды, в которой они заключены.

Полученная разность потенциалов соприкасающихся поверхностей зависит от ряда факторов — диэлектрических свойств материалов, значения их взаимного давления при соприкосновении, влажности и температуры поверхностей этих тел, климатических условий. При последующем разделении этих тел каждое из них сохраняет свой электрический заряд, а с увеличением расстояния между ними за счет совершаемой работы по разделению зарядов, разность потенциалов возрастает и может достигнуть десятков и сотен киловольт.

Электрические разряды могут образовываться вследствие некоторой электропроводности влажного воздуха. При влажности воздуха более 85 %

статическое электричество практически не возникает

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 наливке 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.

Методы и средства защиты от статического электричества

К общим профилактическим мероприятиям, предупреждающим опасные проявления скопившихся электрических зарядов, относятся:

- отсос воздуха из помещения или аппарата, с тем чтобы концентрация взрывоопасной смеси была меньше нижнего предела взрываемости;
- устройство автоматической сигнализации, действующей при возникновении в помещении или аппарате концентрации газов или паров, не превышающей 50% наименьшей взрывоопасности;
- ограничение концентрации запаса горючих и взрывоопасных веществ в одном месте;
- установка на больших аппаратах со взрывоопасной смесью взрывных предохранителей достаточного сечения в таком месте, чтобы при взрыве их выбросило в нужном направлении;
- подбор материалов технологического оборудования таким образом, чтобы исключалась возможность опасных скоплений электрических зарядов;
- развешивание предупредительных плакатов об опасности на тех элементах технологического оборудования, на которых возможно накопление электрических зарядов;
- заполнение аппаратов, емкостей транспортных устройств инертными газами, преимущественно азотом.

Методы, предупреждающие опасные скопления зарядов и способствующие их отводу и нейтрализации, следующие:

- заземление всех токопроводящих частей технологического оборудования;
- повышение электропроводности материалов за счет применения проводящих покрытий и добавок;
- общее и местное увлажнение воздуха;
- осушка и очистка газов от взвешенных, жидких и твердых частиц;
- очистка жидкостей от загрязнений коллоидными частицами;
- ионизация воздуха или среды, заполняющей аппараты;
- устройство электропроводных полов.

Средства защиты от статического электричества по принципу действия делится на следующие виды (ГОСТ 12.4.124-83):

- заземляющие устройства, нейтрализаторы;
- увлажняющие устройства;
- антиэлектростатические вещества;
- экранирующие устройства (козырьки, перегородки).

Заземление

Заземление – наиболее часто применяемое средство защиты от статического электричества.

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством (ПУЭ 1.7.28).

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя/ заземлителей и заземляющих проводников (ПУЭ 1.7.19).

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом (ПУЭ 1.7.15).

Сопротивление заземления - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю (ПУЭ 1.7.26)

Защитное заземление

Это заземление, выполняемое в целях электробезопасности (ПУЭ 1.7.29). Защитное заземление обеспечивает защиту электроустановки и оборудования, а также защиту людей от воздействия опасных напряжений и токов, могущих возникнуть при поломках, неправильной эксплуатации техники (т.е. в АВАРИЙНОМ режиме) и при разрядах молний. Также защитное заземление используется для защиты аппаратуры от помех при коммутациях в питающей сети и интерфейсных цепях, а также от электромагнитных помех, наведенных от работающего рядом оборудования. Подробнее защитное назначение заземления можно рассмотреть на двух примерах:

- в составе внешней молниезащитной системы в виде заземленного молниеприёмника;

- в составе системы защиты от импульсного перенапряжения в составе электросети объекта.

Учитывая малые разрядные токи при статической электризации, допускают сопротивление заземляющего устройства до 100 Ом.

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

В производствах где существует опасность воспламенения взрывоопасных разрядов с человека, необходимо обеспечить работающих электропроводящей обувью. Обувь считается электропроводящей, если электрическое сопротивление ее не превышает 10^7 Ом.

Ионизация воздуха

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.

Нейтрализаторы по принципу ионизации делятся на (ГОСТ

12.4.124-83):

индукционные; высоковольтные; лучевые; аэродинамические.

Средства индивидуальной защиты от статического электричества в зависимости от назначения делятся на:

- специальная одежда электростатическая;
- специальная обувь антиэлектростатическая;
- предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- средства защиты рук антиэлектростатические.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться с методами и средствами защиты от статического электричества.

3. Заполните таблицу № 1.

4. Заполните таблицу № 2

5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица № 1 Основные типы средств коллективной защиты работающих (ГОСТ 12.4.011-89)

Наименование производственного фактора	Средства защиты
--	-----------------

Повышенный уровень статического электричества	
---	--

Таблица № 2 Классификация СИЗ по защитному назначению

Защитные свойства группы	Защитные свойства подгруппы	Условные обозначения защитных свойств подгруппы		
		Специально йодежды	Специально йобуви	Рукавиц и перчаток
От электростатических зарядов и электростатических полей	От электростатических полей, разрядов			

Контрольные вопросы

1. Что такое статическое электричество?
2. Какие производственные процессы связаны с опасностью возникновения статического электричества?
3. Как обеспечить электростатическую искробезопасность производственного объекта?
4. Перечислите средства защиты от статического электричества

Практическая работа № 5

ВЫЧИСЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ШАГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель: научиться вычислять шаговое напряжение и напряжение прикосновения.

Знания и умения: знать базовые понятия и уметь вычислять шаговое напряжение и напряжение прикосновения в сетях с различным режимом нейтрали.

Актуальность темы: получить навыки расчета напряжения шага и прикосновения

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Напряжение прямого прикосновения в трехфазной сети ITB симметричной трехфазной сети ток через изоляцию на землю зависит от

1.2. фазного напряжения U , активного сопротивления изоляции $R_{из}$ и емкости C фазы относительно земли. Активный ток утечки через изоляцию $I_R = U/R_{из}$, ток утечки через емкость C зависит от частоты f напряжения се
 ти: $I_C = U/X_C = U\omega C$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота напряжения сети.

На векторной диаграмме ток I_R по фазе совпадает с напряжением U сети, а ток I_C – опережает напряжение на 90° (рис. 1). Поэтому полный ток фазы на землю $I_\Sigma = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = I_{u3}$

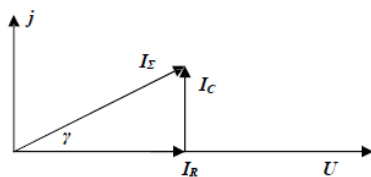


Рисунок 1

В нормальном режиме сопротивление изоляции проводов Z много больше сопротивления тела человека R_h , которое примем равным нулю. Тогда при касании человеком, например, фазы А, потенциал этой фазы станет равным потенциалу земли, т.е. нулю, а потенциалы фаз В или С возрастут до векторной суммы напряжений фазы А и В или С. Сказанное поясняется рис. 2а, где U_A, U_B, U_C – исходные напряжения фаз А, В, С; $\varphi_{A1}, \varphi_{B1}, \varphi_{C1}$ – потенциалы фаз А, В, С при замыкании провода А на землю.

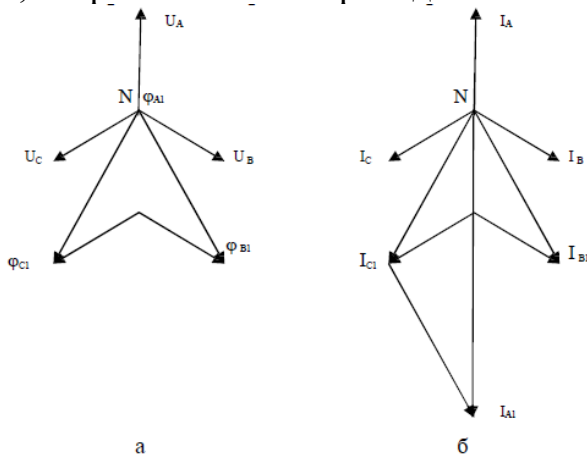


Рис. 2

Из геометрических построений рис. 2б (I_{B1} и I_{C1} – токи фаз В и С при замыкании провода А на землю; I_{A1} – суммарный ток фаз В и С, т.е. ток фазы А на землю) видно, что отрезок NI_{A1} в 3 раза больше отрезков $NU_C=NU_B$, пропорциональных токам утечки на землю в нормальном режиме I_C и I_B , т.е. ток через человека

$$I_h = 3U / Z = 3I_{u3} .$$

Поскольку реально сопротивление тела человека ненулевое, потенциал фазы А будет отличаться от нуля, в результате чего ток через человека будет описываться уравнением $I_h = U(Z/3 + R_h)$.

Пусть в сети IT 380/220В сопротивление изоляции $R_{u3}=30$ кОм, а емкость фазных проводов относительно земли $C=0,1$ мкФ. Определить ток прямого прикосновения при $R_h=1$ кОм.

Решение. Активный ток утечки на землю

$$I_R = U / R_{из} = 220 / 30 = 7.333 \text{ мА.}$$

Емкостной ток утечки на землю

$$I_C = U\omega C = 220 \cdot 314 \cdot 10^{-7} = 6.91 \text{ мА.}$$

Полный ток утечки на землю

$$I_{\Sigma} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{53.77^2 + 47.72^2} = 10 \text{ мА.}$$

Полное сопротивление утечки через изоляцию провода

$$Z = U / I_{\Sigma} = 220 / 10 = 22 \text{ кОм.}$$

Ток через тело человека при прямом прикосновении

$$I_h = U(Z/3 + R_h) = 220 / (7.333 + 1) = 26.4 \text{ мА.}$$

Напряжение косвенного прикосновения в аварийной сети IT

Косвенное прикосновение имеет место при касании человеком корпуса электрооборудования с поврежденной изоляцией. Поскольку корпус заземлен, причем сопротивление заземления много меньше сопротивления изоляции неповрежденных фазных проводов и сопротивления тела человека, то потенциал корпуса будет близок к нулю. Так, в рассмотренном выше примере при коротком замыкании (КЗ) фазы А на корпус ток $I_{кз}$ составит 30 мА (утроенное значение тока утечки в исправном состоянии). Если сопротивление заземления оборудования R_z , например, 100 Ом, то напряжение косвенного прикосновения $U_{кп} = R_z \cdot I_{кз} = 100 \cdot 0,03 = 3 \text{ В}$. Напряжение прямого прикосновения в аварийной сети IT. Поскольку при замыкании одной из фаз на землю потенциалы остальных фаз возрастают в 3 раза (рис. 2а), то прямое касание к ним весьма

опасно, поскольку к человеку в этом случае прикладывается практически линейное напряжение 380 В. Незначительное снижение напряжения за счет падения напряжения на сопротивлении заземления практически не оказывает влияния на тяжесть поражения электрическим током.

Напряжение прямого прикосновения в исправной трехфазной сети TT

При прямом прикосновении в сети TT ток через тело человека

$$I_h = U(R_h + R_0),$$

где R_0 – сопротивление заземления источника тока.

$$U_{пп} = I_h \cdot R_h = U \frac{R_h}{R_h + R_0}$$

Напряжение прикосновения

Поскольку $R_h \gg R_0$, напряжение прикосновения практически равно фаз-ному напряжению сети.

1.3. Напряжение прикосновения в аварийной трехфазной сети TT

При замыкании фазы на землю протекает ток заземления

$$I_z = U(R_z + R_0)$$

При этом напряжение прикосновения к поврежденной фазе равно

$$U_{\text{пр}} = I_3 \cdot R_3 = U \frac{R_3}{R_3 + R_0}$$

потенциалу поврежденной фазы

Если $R_0=0$, то напряжение косвенного прикосновения равно фазному напряжению сети. Если же $R_0=\infty$, то имеем рассмотренную выше сеть IT.

Напряжение прямого прикосновения к неповрежденной фазе также зависит от сопротивления R_0 заземления источника питания. Если $R_0=0$, то напряжение прикосновения равно фазному. Однако по мере увеличения отношения R_0/R_3 напряжение прямого прикосновения растет, достигая линейного значения при $R_3=0$. При конечных значениях сопротивлений R_0 и R_3 напряжение прямого прикосновения можно рассчитать по формуле

$$U_{\text{пр}} = \sqrt{(0,5 + I_3 R_0)^2 + 0,75 U^2},$$

которая выводится из построений рис. 2а при расположении точки φ_{A1} между U_A и N.

1.4. Напряжение прямого прикосновения в сети TN

При прямом прикосновении к двум фазам в сети TN, как и во всех остальных, человек оказывается под действием линейного напряжения 380 В. При однофазном прикосновении (человек под действием фазного напряжения 220 В) наличие заземления электрооборудования не сказывается на тяжести поражения током.

1.5. Аварийный режим сети TN

Наиболее вероятным аварийным режимом сети TN является замыкание фазного провода на зануленный корпус электрооборудования. В этом случае ток короткого замыкания $I_{KЗ} = U / R_{\phi 0}$,

где $R_{\phi 0}$ – сопротивление цепи фаза-ноль источника тока.

Согласно требованию Правил устройства электроустановок, в групповых сетях проводимость нулевого защитного проводника должна равняться проводимости фазного. При этом $R_{\phi 0}$ равно удвоенному значению сопротивления защитного проводника, а потенциал в месте КЗ $\varphi_{\text{кз}} = I_{\text{кз}} \cdot R_{\text{кз}} = U \cdot R / 2R = U / 2$.

Таким образом, напряжение косвенного прикосновения не превышает половины фазного, если сопротивление нулевого защитного проводника не превышает сопротивление линейного. Наличие дополнительного заземления оборудования способно лишь незначительно снизить потенциал места КЗ за счет проводимости земли, т.е. протекания части тока по цепи заземлитель электрооборудования – земля – заземлитель источника.

Практическая работа №6

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель: научиться рассчитывать сопротивление заземлителя .

Знания и умения: знать порядок расчета сопротивления заземлителя и уметь рассчитывать сопротивление

Актуальность темы: полученные знания необходимы для проведения расчетов при обеспечении электробезопасности

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Сопротивление R_z единичных заземлителей определяют по формулам:

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi D} \left(1 + \frac{D}{4t} \right)$$

1. Шаровой в земле
2. Полушаровой у поверхности земли $R_z = \rho / \pi D$
3. Вертикальная труба до поверхности земли $R_z = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{4l}{d}$
4. Вертикальная труба на глубине t (до середины трубы)
 $R_z = \frac{\rho}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
5. Горизонтальная труба на поверхности земли $R_z = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{2l}{d}$
6. Горизонтальная труба на глубине t $R_z = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{l^2}{dt}$
7. Круглая пластина на поверхности земли $R_z = \rho / 2D$
8. Пластина $a \cdot b$, поставленная в земле на ребро $R_z = 0.25 \sqrt{ab}$
9. Горизонтальная полоса $R_z = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{2l^2}{dt}$

В этих формулах:

ρ – удельное сопротивление грунта;

l – длина стержня или полосы;

d – диаметр электрода;

t – глубина от поверхности земли до середины электрода;

D – диаметр пластины или (полу)сферы,

b – ширина горизонтальной полосы.

Определение потенциала земли вблизи заземлителя. Потенциал заземлителя и соприкасающегося с ним слоя земли равен произведению тока заземлителя на его сопротивление растеканию тока $\varphi = I_z R_z$. По мере удаления от заземлителя потенциал земли снижается вследствие падения напряжения в земле при протекании тока заземлителя. Потенциал земли φ_z при протекании в ней тока I_z равен падению напряжения в земле снаружи от эквипотенциальной поверхности, на которой расположена точка измерения потенциала. На расстояниях от заземлителя, превышающих его наибольший размер, эквипотенциальные поверхности образуют полусферы, поэтому для определения потенциала земли можно пользоваться формулой для полусферического заземлителя. Так, если $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и ток $I = 10 \text{ А}$

вертикального заземлителя $l=3\text{м}$, то потенциал на поверхности земли на расстоянии $r=5\text{м}$ от заземлителя будет

$$\varphi = \rho I / \pi r = 100 \cdot 10 / (3.14 \cdot 5) = 63.7\text{В}.$$

В то же время сопротивление заземлителя диаметром $0,03\text{м}$

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{100}{6,28} \ln \frac{4 \cdot 3}{0,03} = 95,4\text{Ом},$$

а его потенциал $\varphi_3 = 10 \cdot 95,4 = 954\text{В}$.

Пусть напряжение U приложено между двумя полусферическими заземлителями с диаметрами D_1 и D_2 , удельное сопротивление грунта ρ . Тогда сопротивление растеканию тока первого заземлителя $R_1 = \rho / \pi D_1$, а второго – $R_2 = \rho / \pi D_2$. Если расстояние между заземлителями на несколько порядков превышает их диаметры, ток заземлителей

$$I_3 = U / (R_1 + R_2).$$

При этом потенциалы электродов обратно пропорциональны их

$$\varphi_1 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U \frac{\rho / \pi D_2}{\rho / \pi \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right)} = U \frac{D_2}{D_1 + D_2};$$

$$\varphi_2 = U \frac{D_1}{D_1 + D_2}.$$

диаметрам и противоположны по знаку:

пусть расстояние между центрами полусфер равно $2a$, тогда потенциал в средней точке между заземлителями от протекания тока электрода 1

$$\varphi_{\alpha 1} = I_3 \rho / \pi a,$$

а от протекания тока электрода 2 $\varphi_{\alpha 2} = -I_3 \rho / \pi a$.

Потенциал – скалярная величина, поэтому результирующее значение потенциала в средней точке между заземлителями

$$\varphi_{\alpha} = \varphi_{\alpha 1} + \varphi_{\alpha 2} = I_3 \rho / \pi a - I_3 \rho / \pi a = 0$$

не зависит от их размеров, т.е. сопротивлений растеканию тока. Это важное положение позволяет на практике обнаруживать точку с нулевым потенциалом, не удаляясь от заземлителей на бесконечность.

При уменьшении расстояния $2a$ между заземлителями каждый из них окажется в зоне растекания тока второго заземлителя. Итогом этого станет увеличение тока каждого заземлителя, поскольку он будет протекать под действием разности потенциалов данного заземлителя и потенциала земли, создаваемого током второго заземлителя.

Пример 2. Напряжение $U=10\text{В}$ приложено между двумя полусферическими заземлителями с расстоянием между центрами $2a=2\text{м}$ и диаметрами $D_1 = D_2 = 1\text{м}$, удельное сопротивление грунта $\rho=62,8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Найти электрические параметры заземлителей.

Решение. Сопротивление заземлителей $R_3 = \rho / \pi D = 20\text{Ом}$

Ток заземлителей без учета взаимного влияния $I_3 = U / (2R_3) = 0,25\text{А}$.

Потенциал, создаваемый возле каждого заземлителя током второго заземлителя, $\Delta\varphi = (I_3 \rho) / (2\pi a) = 0,25 \cdot 62,8 / (2 \cdot 3,14 \cdot 1) = 2,5\text{В}$.

Фактический ток заземлителей $I_3 = (U + 2\Delta\varphi) / (2R_3) = 15 / 40 = 0,375\text{А}$.

Фактическое сопротивление каждого заземлителя

$$R_{\text{ф}} = 0,5U / I = 13,3\text{Ом}$$

Сопротивление группового заземлителя

Групповой заземлитель (ГЗ) состоит из нескольких электродов, включенных параллельно, т.е. находящихся под одним потенциалом. Если сопротивление растеканию тока одиночного электрода R , а расстояние между ними много больше их наибольшего размера, то суммарное сопротивление ГЗ, состоящего из n электродов, будет в n раз меньше, т.е. $R_{гз}=R/n$.

Но если каждый электрод ГЗ находится в зоне растекания тока соседних электродов, то его эффективность снижается, поскольку ток данного электрода определяется не полным потенциалом ГЗ, а разностью потенциалов ГЗ и земли в месте нахождения электрода. Степень снижения эффективности электродов ГЗ определяется расстоянием между ними, взаимным расположением и количеством. Значения коэффициентов использования вертикальных электродов группового заземлителя в зависимости от расстояния x между электродами, приведены в табл. 1, горизонтальных – в табл. 2.

Таблица 1
Коэффициент эффективности вертикальных электродов

x/l	Число электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Размещение электродов в ряд								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	-	-	-
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	-	-	-
3	0,94	0,89	0,85	0,81	0,76	-	-	-
Размещение электродов по контуру								
1	-	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	-	0,78	0,73	0,66	0,63	0,58	0,55	0,52
3	-	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Таблица 2
Коэффициент эффективности соединительных полос

x/l	Число электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Размещение электродов в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,84	0,80	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Размещение электродов по контуру								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Пример 3. Вертикальные стержни длиной $l = 5$ м диаметром $d=2$ см соединены перемычками из таких же прутков. Расстояние между стержнями в ряду 5 м, расстояние от поверхности земли до стержней $t_0=0,7$ м. Удельное сопротивление земли $\rho=100$ Ом•м. Пусть требуется рассчитать ГЗ с сопротивлением растекания току не более 4 Ом.

Решение. Сопротивление одиночного вертикального электрода

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{d} + 0.5 \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 5} \left(\ln \frac{10}{0.02} + 0.5 \ln \frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5} \right) = 23.4 \text{ Ом},$$

Ориентировочное количество вертикальных стержней

$$n = R_3 / R_{зз} = 23.4 / 4 = 6 \text{ шт.}$$

Сопротивление одной горизонтальной перемычки без учета вертикальных стержней

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt_1} = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 5} \ln [25 / (0.02 \cdot 0.7)] = 23.846 \text{ Ом},$$

Сопротивление шести вертикальных стержней при коэффициенте использования $k_6=0,65$

$$R_6 = R_3 (n \cdot k_6) = 23.4 / (6 \cdot 0.65) = 6 \text{ Ом}$$

Сопротивление пяти горизонтальных перемычек при $k_2 = 0,72$

$$R_{зоп} = R_z (n \cdot k_2) = 23.846 / (3 \cdot 0.72) = 6,62 \text{ Ом}$$

Сопротивление группового заземлителя

$$R_{зз} = \frac{R_6 R_{зоп}}{R_6 + R_{зоп}} = \frac{6 \cdot 6.62}{6 + 6.62} = 3.15 \text{ Ом}$$

что удовлетворяет условиям задачи.

Напряжение прикосновения с учетом потенциала земли

Пример 4. Светильник наружного освещения закреплен на металлической опоре, нижняя часть которой выполнена из трубы диаметром $d_m = 0,15 \text{ м}$, заглублена в землю на $l = 1 \text{ м}$ по центру бетонного цилиндра диаметром $0,45 \text{ м}$. Удельное сопротивление бетона $\rho_6 = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, земли $\rho_3 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Сеть TN-C, зануление опоры отсутствует. При повреждении изоляции светильника опора оказалась под напряжением $U_c = 220 \text{ В}$. Определить напряжение прикосновения к опоре при расстоянии между ней и ногами человека $0,4 \text{ м}$ при наличии и отсутствии бетонного крепления опоры.

Решение. Сопротивление растеканию тока слоя бетона толщиной $(0,45 - 0,15) / 2 = 0,15 \text{ м}$

$$R_6 = \frac{\rho_6}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d_r} - \frac{\rho_6}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d_3} = \frac{50}{6,28} \left(\ln \frac{4}{0,15} - \ln \frac{4}{0,45} \right) = 8,75 \text{ Ом},$$

Сопротивление растеканию тока земли

$$R_3 = \frac{\rho_3}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d_3} = \frac{150}{6,28} \ln \frac{4}{0,45} = 52,2 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление растеканию тока

$$R_{\Sigma} = R_6 + R_3 = 8.75 + 52.2 = 60.95 \text{ Ом}$$

Пренебрегая сопротивлением заземления источника питания, определим

$I_{КЗ}$ на землю:

$$I_{кз} = 220 / 60.95 = 3.61 A.$$

Падение напряжения в слое бетона

$$\Delta U_{\delta} = R_{\delta} \cdot I_{кз} = 8.75 \cdot 3.61 = 31.59 B.$$

Потенциал земли на расстоянии $r = 0,475$ м от центра опоры

$$\varphi_{z} = I_{кз} \cdot R = I_{кз} \cdot \frac{\rho_{z}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{2\pi r} = 3.61 \frac{150}{6.28} \ln \frac{4}{6.28 \cdot 0.475} = 25.2 B.$$

Напряжение прикосновения $U_{np} = U_{c} - \varphi_{z} = 220 - 25.2 = 194.8 B$. При отсутствии бетонного слоя сопротивление заземления опоры

$$R_{z} = \frac{\rho_{z}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{d_{z}} = \frac{150}{6.28} \ln \frac{4}{0.15} = 87.4 B.$$

Ток короткого замыкания на землю $I_{кз} = 220 / 87.4 = 2.517 A$
 . Потенциал земли на расстоянии 0,475 м от центра опоры

$$\varphi_{z} = I_{кз} \cdot \frac{\rho_{z}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{2\pi r} = 2.517 \frac{150}{6.28} \ln \frac{4}{6.28 \cdot 0.475} = 17.58 B.$$

Напряжение прикосновения $U_{np} = 220 - 17.58 = 202.42 B$.

1.12. Напряжение прикосновения с учетом сопротивления основания

В приведенном выше примере напряжение прикосновения 202,42 В при- кладывается между рукой человека и землей. Ток протекает как через тело человека, так и через основание, на котором стоит человек (обувь). Если принять сопротивление тела человека $R_h = 1$ кОм, а основания $R_{осн} = 5$ кОм, тогда ток через тело человека

$$I_h = U_{np} / (R_h + R_{осн}) = 202.42 / (1 + 5) = 33.73 mA.$$

Фактическое значение напряжения прикосновения

$$U_{np.факт} = I_h \cdot R_h = 1 \cdot 33.73 = 33.73 B.$$

Список литературы

1. Привалов Е.Е. Основы электробезопасности. В 3-х частях. Ч. III: защита от напряжения прикосновения и шага в электрических сетях: Учебное пособие/ Е.Е. Привалов. – М.- Берлин: Директ-Медиа, 2016.- 180 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436756
2. Привалов Е.Е. Основы электробезопасности. В 3-х частях. Ч. II: заземление электроустановок систем электроснабжения: Учебное пособие/ Е.Е. Привалов. – М.- Берлин: Директ-Медиа, 2016.- 156 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436755
3. ПУЭ, седьмое издание, 0/ 3 экз.;