

**Федеральное агентство по образованию**  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ГОУВПО «АмГУ»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой БЖД

\_\_\_\_\_ А.Б. Булгаков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2008 г.

## **Электробезопасность**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для специальности 280101

«Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Составители: Булгаков А.Б., доцент кафедры БЖД, канд. техн. наук  
Аверьянов В. Н., старший преподаватель, канд. ф-м. наук

Благовещенск 2008 г.

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
инженерно-физического факультета  
Амурского государственного  
университета

А.Б. Булгаков, В.Н. Аверьянов

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Электробезопасность» для студентов очной и заочной сокращенной форм обучения специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере». - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2008. – 81 с.

Учебно-методический комплекс составлен в соответствии с Учебным планом для специальности 280101 и включает наименование тем; цели и задачи дисциплины; содержание лекционных, практических занятий и лабораторных занятий; задания к практическим занятиям; перечень и темы промежуточных форм контроля знаний; вопросы к экзамену; список рекомендуемой литературы; учебно-методические материалы по дисциплине.

© Амурский государственный университет, 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа дисциплины	4
2. График самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине	15
3. Методические рекомендации для проведения самостоятельной работы	15
4. Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий по дисциплине	15
5. Методические рекомендации по проведению практических занятий по дисциплине	32
6. Содержание курса лекций по дисциплине	40
Тема 1. Электротравматизм, его учет и характеристика	40
Тема 2. Первая помощь пострадавшим от электрического тока	49
Тема 3. Механизм воздействия электрического тока на человека	50
Тема 4. Статическое электричество	57
Тема 5. Явления при стекании тока в землю	58
Тема 6. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях	59
Тема 7. Защитное заземление	59
Тема 8. Зануление	59
Тема 9. Защитное отключение	59
Тема 10. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления	59
Тема 11. Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в установках сверхвысокого напряжения	64
Тема 12. Защита от статического электричества	70
Тема 13. Защита электроустановок, зданий и сооружений, а также территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества	71
Тема 14. Нормативные правовые акты по электробезопасности	72
Тема 15. Организация безопасной эксплуатации электроустановок	78
7. Методические указания по выполнению домашних заданий, контрольных работ (самостоятельная работа студентов)	78
8. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников	78
9. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов	78
10. Комплекты заданий для лабораторных работ, контрольных работ, домашних заданий по дисциплине “Электробезопасность”	78
11. Фонд контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине “Электробезопасность”	78
12. Вопросы к зачету и экзамену по дисциплине “Электробезопасность”	80
13. Карта обеспеченности дисциплины “Электробезопасность” кадрами профессорско-преподавательского состава	80

Федеральное агентство по образованию РФ  
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УНР  
Е.С. Астапова

\_\_\_\_\_ И.О.Ф  
подпись,

«  » \_\_\_\_\_ 2006 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
по дисциплине “Электробезопасность”

-

(наименование дисциплины)

для специальности 280101. Безопасность жизнедеятельности в техносфере  
(шифр и наименование специальности)

Курс 3

Семестр 5

Лекции 36 (час.)

Экзамен нет  
(семестр)

Практические (семинарские) занятия 18 (час.)

Зачет 5  
(семестр)

Лабораторные занятия 18 (час.)

РГР - 1

Самостоятельная работа 8 (час.)

Всего часов 80

Составитель А.Б. Булгаков, доцент, канд. техн. наук  
(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет инженерно-физический

Кафедра БЖД

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании \_\_\_\_\_

(Государственного образовательного стандарта ВПО или типовой программы)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры БЖД

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой

А.Б. Булгаков

Рабочая программа одобрена на заседании УМС 280101 (БЖД в техносфере)  
(наименование специальности)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Председатель \_\_\_\_\_ О.Т. Аксенова  
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от \_\_\_\_\_  
протокол № \_\_\_\_\_ .

Зав.кафедрой

\_\_\_\_\_   
подпись

\_\_\_\_\_   
Ф.И.О.

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

\_\_\_\_\_   
(подпись, И.О.Ф.)

Г.Н. Торопчина

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМС факультета

\_\_\_\_\_   
(подпись, И.О.Ф.)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей  
кафедрой

\_\_\_\_\_   
(подпись, И.О.Ф.)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

# **1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе**

## **1.1. Цель преподавания дисциплины**

В учебной дисциплине «Электробезопасность» рассматриваются вопросы безопасного взаимодействия человека с электричеством и электромагнитными полями промышленной частоты. Изучение студентами дисциплины позволяет сформировать у будущих специалистов специальные знания в области электробезопасности. Реализация на практике этих знаний обеспечит сохранение работоспособности, здоровья и жизни человека.

## **1.2. Задачи изучения дисциплины**

Основная задача дисциплины – вооружить будущих специалистов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для:

- идентификации опасностей, обусловленных электрической энергией;
- принятия решений и разработки мер по защите производственного персонала и населения от воздействия электрического тока и электромагнитных полей промышленной частоты, а также принятия мер по ликвидации их последствий;
- проектирования и эксплуатации техники, технологических процессов и объектов экономики в соответствии с требованиями электробезопасности.

В результате изучения дисциплины «Электробезопасность» специалист должен знать: действие электрического тока на организм; уметь оказывать первую помощь пострадавшим от электрического тока; средства индивидуальной и коллективной защиты от воздействия электрического тока и электромагнитных полей промышленной частоты; нормативные правовые акты в области электробезопасности.

Специалист должен уметь: проводить контроль параметров электрической сети и уровней электромагнитного поля; проводить анализ опасности поражения током в различных электрических сетях; эффективно применять электротехнические защитные средства защиты от электромагнитных полей промышленной частоты; планировать мероприятия по электробезопасности; разрабатывать мероприятия по повышению электробезопасности.

## **1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо при изучении данной дисциплины**

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении естественно научных (ЕН.Ф.01 Высшая математика; ЕН.Ф.03 Физика; ЕН.Ф.06 Физиологии человека) и общепрофессиональных дисциплин (ОПД.Ф. 07 Электротехника и электроника; ОПД.Ф.10 Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности).

# **2.Содержание дисциплины**

## **2.1. Федеральный компонент**

В учебный план дисциплина введена решением Ученого Совета АмГУ от 01 марта 2001 г. протокол N7 - Ф.00 “Дополнительные виды образования и факультативы”, Ф.01 “Электробезопасность”.

## **2.2. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий**

Тема 1. Электротравматизм, его учет и характеристика (самостоятельно)

История электробезопасности. Показатели электротравматизма. Судебно-медицинская экспертиза. Характеристика электротравматизма в РФ и за рубежом. Промышленный и бытовой электротравматизм. Распределение электротравм по: напряжениям установок; роду тока; профессиональной принадлежности пострадавших; условиям возникновения электрической цепи через тело человека; видам оборудования; времени суток и месяцам года. Электротравматизм в квартирных электросетях. Домовые электросети. Коммунально-бытовые сети. Электротравматизм в сетях наружного расположения. Поражение электрическим током в быту.

Тема 2. Первая помощь пострадавшим от электрического тока (самостоятельно)

Освобождение человека от действия тока. Меры первой доврачебной медицинской помощи. Искусственное дыхание. Массаж сердца. Электрическая дефибрилляция сердца.

Тема 3. Механизм воздействия электрического тока на человека (3 часа)

Виды поражений электрическим током. Электрическое сопротивление тела человека. Влияние на исход поражения: значения тока; продолжительности прохождения тока; пути тока; частоты и рода тока; индивидуальных свойств человека. Критерии безопасности электрического тока.

Тема 4. Статическое электричество (1 час)

Основные представления об электризации. Источники статического электричества. Опасность статического электричества.

Тема 5. Явления при стекании тока в землю (4 часа)

Общие сведения. Стеkanie тока в землю через одиночный заземлитель. Стеkanie тока в землю через групповой заземлитель. Напряжение прикосновения. Напряжение шага. Электрическое сопротивление земли.

Тема 6. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях (4 часа)

Общие сведения. Однофазные сети. Трехфазные сети. Выбор схемы сети и режима нейтрали.

Тема 7. Защитное заземление (4 часа)

Общие сведения. Назначение, принцип действия и область применения защитных заземлений. Выполнение заземляющих устройств. Расчет защитного заземления. Эксплуатация заземляющих устройств.

Тема 8. Зануление (4 часа)

Общие сведения. Назначение, принцип действия и область применения зануления. Назначение отдельных элементов схемы зануления. Расчет зануления. Контроль исправности зануления.

Тема 9. Защитное отключение (4 часа)

Общие сведения. Назначение, принцип действия и область применения. Устройства, реагирующие на потенциал корпуса. Устройства, реагирующие на ток замыкания на землю. Устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности. Устройства, реагирующие на оперативный ток.

Тема 10. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления (2 часа)

Общие сведения. Назначение, конструкция и правила применения защитных средств. Электрические испытания изолирующих защитных средств.

Тема 11. Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в установках сверхвысокого напряжения (2 часа)

Биологическое действие электромагнитного поля. Напряженность электрического поля. Напряженность магнитного поля. Ток, проходящий через человека в землю. Гигиенические нормативы. Индивидуальные средства защиты. Коллективные средства защиты. Некоторые особенности производства работ в зоне влияния электромагнитных полей.

Тема 12. Защита от статического электричества (2 часа)

Защита технологического оборудования от опасных проявлений статического электричества. Контроль параметров статического электричества.

Тема 13. Защита электроустановок, зданий и сооружений, а также территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества (2 часа)

Основные термины. Характеристика молнии и поражаемых объектов. Характеристика грозовой деятельности. Способы защиты промышленных объектов и территорий от ударов молнии. Требования к выполнению молниезащиты. Конструкции молниеотводов. Категории молниезащиты промышленных предприятий и зоны защиты молниеотводов. Нормирование и измерение сопротивления заземляющих устройств.

Тема 14. Нормативные правовые акты по электробезопасности (2 часа)

Правила устройства и безопасной эксплуатации электроустановок. Государственная система стандартов безопасности труда (ССБТ). Санитарные нормы и правила.

Тема 15. Организация безопасной эксплуатации электроустановок (2 часа)

Группы персонала, обеспечивающего нормальную эксплуатацию электроустановок. Медосмотры. Обучение и квалификация. Эксплуатация действующих электроустановок.

### **2.3. Практические и семинарские занятия**

1. Первая помощь пострадавшим от электрического тока – 2 часа.
2. Математической модели электрического сопротивления тела человека по пути “рука-рука” и его исследование в зависимости от рода тока электрической сети (постоянный ток и переменный ток промышленной частоты (50 Гц)) – 2 часа.
3. Расчет потенциала на поверхности при стекании тока замыкания через одиночный заземлитель – 2 часа.
4. Расчет эквивалентного удельного сопротивления земли для многослойного грунта с учетом климатических условий и влажности грунта – 2 часа.
5. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях – 2 часа.
6. Расчет защитного заземления – 4 часа.
7. Расчет зануления – 2 часа .
8. Электротехнические защитные средства и средства защиты от электромагнитных полей промышленной частоты – 2 часа.

### **2.4. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах**

1. Исследование сопротивления тела человека электрическому току – 4 часа.
2. Исследование электробезопасности в сетях трехфазного тока напряжением до 1000 В – 3 часа.
3. Исследование эффективности защитного заземления – 2 часа.
4. Исследование эффективности зануления – 3 часа.
5. Защита лабораторных работ – 6 часов.

### **2.5. Расчетно-графическая работа (РГР)**

По темам практических занятий 2-7, 9 выполняется РГР. Вариант задания соответствуют номеру студента в группе в списке группы.

Требования к оформлению РГР:

1. При оформлении придерживаться основных требований изложенных в стандарте АмГУ. Правила оформления дипломных и курсовых работ (проектов). **Нормоконтроль проходить не требуется.**

2. РГР оформляется на листах формата А 4. Текст может быть рукописный или машинописный. Рукописный текст должен быть написан аккуратно, синей или черной пастой через два интервала.
3. В тексте обязательны ссылки на источники информации, перечень которых обязательно приводится в конце РГР с указанием авторов, названия статьи или книги, названия периодического издания и его номера (для статьи) или места и наименования издательства (для книги), года издания, страниц.
4. При решении задач с помощью прикладных программ, листинг программы должен быть приведен в приложении к РГР.
5. РГР сдается на каф. БЖД (ауд. 204 1-го корпуса АмГУ.) инженеру Брусницыной Валентине Петровне. Время работы с 8<sup>00</sup> до 17<sup>00</sup>. Перерыв на обед с 12<sup>00</sup> до 13<sup>00</sup>. Выходные дни – суббота, воскресенье.
6. После рецензирования, если нет замечаний, РГР допускается к защите. Иначе возвращается на доработку.

## **2.6. Самостоятельная работа студентов**

1. Электротравматизм, его учет и характеристика.
2. Первая помощь пострадавшим от электрического тока.
3. Анализ опасности поражения током в однофазных электросетях.
4. По практическим занятиям 2-7, 9 студенты выполняют одну индивидуальную РГР.

## **2.7. Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний**

1. Первый промежуточный контроль по темам:
  - первая помощь пострадавшим от электрического тока;
  - механизм воздействия электрического тока на человека;
  - статическое электричество;
  - явления при стекании тока в землю;
  - анализ опасности поражения током в различных электрических сетях;
  - защитное заземление;
  - зануление.
2. Второй промежуточный контроль по темам:
  - защитное отключение;
  - электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления;
  - защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в установках сверхвысокого напряжения;
  - защита от статического электричества;
  - защита электроустановок, зданий и сооружений, а также территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества;
  - нормативные правовые акты по электробезопасности.

## **2.8. Вопросы к зачету**

1. Как освободить пострадавшего от токоведущих частей при напряжении до 1000 В?
2. Как освободить пострадавшего от токоведущих частей при напряжении выше 1000 В?
3. Какова последовательность действий при оказании первой помощи пострадавшему от действия электрического тока?

4. Назовите и дайте краткую характеристику видов действия электрического тока на организм человека.
5. Какие факторы влияют на степень поражения человека электрическим током? Дайте их краткую характеристику.
6. Как влияет на электротравматизм среда производственных помещений?
7. Назовите критерии безопасности электрического тока. В каком нормативном правовом акте по охране труда они приведены?
8. Приведите классификацию помещений по электроопасности.
9. Назовите основные причины поражения человека электрическим током.
10. Какие виды электротравм от опасных и вредных воздействий электрического тока, электрической дуги и электрических полей Вы знаете?
11. Приведите строение кожного покрова человека.
12. Что определяет электрическое сопротивление тела человека?
13. Приведите и поясните зависимость электрического сопротивления тела человека от параметров электрической цепи.
14. Как зависит электрическое сопротивление тела человека от состояния кожи?
15. Как зависит электрическое сопротивление тела человека от психофизиологических факторов и окружающей среды?
16. Приведите формулы, описывающие распределение потенциала на поверхности земли для одиночного шарового заземлителя и его сопротивление растеканию тока.
17. Зависит ли удельное сопротивление грунта от климатических факторов и его влажности? Если зависит, то как это учитывается при расчетах?
18. Чем групповой заземлитель отличается от одиночного?
19. Как рассчитывается эквивалентное удельное сопротивление для многослойного грунта?
20. Поясните, что такое напряжение шага? В каких случаях оно возникает?
21. Поясните, что такое напряжение прикосновения? В каких случаях оно возникает?
22. Приведите порядок расчета защитного заземления.
23. Поясните принцип действия защитного заземления.
24. В каких случаях применяется защитное заземление?
25. Поясните принцип действия зануления.
26. В каких случаях применяется зануление?
27. Назначение заземления нейтрали?
28. Виды и периодичность проверок состояния заземляющих устройств.
29. Испытания заземляющих устройств.
30. Поясните принцип действия зануления.
31. Классификация устройств защитного отключения.
32. Какие электрозащитные средства называют основными, а какие дополнительными?
33. Как накладывают переносные защитные заземляющие устройства?
34. Биологическое действие электромагнитного поля промышленной частоты.
35. Перечислите и дайте краткую характеристику коллективных средств защиты от электрического поля промышленной частоты. Принцип защиты?
35. Принцип защиты и конструкция экранирующего костюма?
36. Принцип действия и конструкция молниезащиты.
37. Какие основные требования безопасности предъявляет ССБТ к электрооборудованию?
38. Какие требования предъявляют персоналу, обслуживающему электроустановки?
39. Какие организационные мероприятия обеспечивают безопасность работ в электроустановках?
40. Какие технические мероприятия обеспечивают безопасность работ в электроустановках?

### 3. Учебно-методические материалы по дисциплине

#### 3.1. Список рекомендуемой литературы

##### Основная

1. Долин А. А. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему/ Долин А.А. - М.: Энергоатомиздат, 2000. – 141 с.
2. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: учебник: Доп. Мин. Обр. РФ / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Академия, 2003. – 237 с.
3. Максимов Б. К. Статическое электричество в промышленности и защита от него/ Максимов Б.К., Обух А.А. - М.: Энергоатомиздат, 2000. – 95с.
4. Долин П.А., Медведев В.Т., Корочков В.В. Электробезопасность: задачник: Учебное пособие/ Под ред. профес. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2003. – 215 с.
5. Аксенова О.Т., Булгаков А.Б., Гурова Е.Ю., Кардаш Т.А. Безопасность жизнедеятельности. Лабораторный практикум. – Благовещенск: АмГУ, 2000. – 72 с.

##### Дополнительная

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
2. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок: ПОТ РМ-016-2001.РД 153-34.0-03.150-00. - СПб.: ДЕАН, 2001. – 206 с.
3. Карякин Р. Н. Заземляющие устройства электроустановок: справочник / Р.Н. Карякин. - М.: Энергосервис, 2002. – 376 с.
4. Правила безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд. - СПб.: Изд-во ДЕАН, 2000. – 192 с.
5. Карякин Р. Н. Нормы устройства электроустановок производственных зданий: монография / Р.Н.Карякин. - М.: Энергосервис, 2001. – 208 с.
6. Правила устройства электроустановок/ М-во энергетики РФ. - 7-е изд. – М. : НЦ ЭНАС, 2003 - : нормативно-технический материал. Разд. 1. Общие правила, Гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Разд. 7. Электрооборудование специальных установок, Гл. 7.5, 7.6, 7.10. - Введ. с 1 октября 2003 г. - 2003. – 171 с.
7. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : ИРПО ; М. : ПрофОбрИздат, 2002. – 237 с.
8. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним: к изучению дисциплины. - СПб.: Деан, 2000. – 128 с.
9. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений и токов.
10. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования.
11. ГОСТ 12.1.030-82. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
12. ГОСТ 12.4.155-85. ССБТ. Устройства защитного отключения. Классификация. Общие технические требования.
13. ГОСТ 12.4.154-85. ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.
14. ГОСТ 12.4.172-87. ССБТ. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от ЭП промышленной частоты. Общие технические требования и методы контроля.
15. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
16. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

### 3.1. Перечень наглядных и других пособий

1. Электробезопасность [Видеозапись]: учеб. видеофильмы. - [Б. м. : б. и.], [2004]. - 1 вк. (33 мин.) : цв., звук на том же нос., VHS.

#### 4. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины.

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семин.)	лаборат.		содерж.	часы	
1	2 3	Первая помощь пострадавшим от электрического тока. Механизм воздействия электрического тока на человека.	1 2	- 1	Руководящий документ (РД) (электронная версия) Лабораторный стенд “Исследование электрического сопротивления тела человека”	Изучить РД  Изучить порядок выполнения лабораторной работы	1  1	Текущий контроль
2	3, 4	Механизм воздействия электрического тока на человека. Статическое электричество.	- -	- -	- -	- -	- -	
3	5	Явления при стекании тока в землю	3	-	-	-	-	Текущий контроль
4	5	Явления при стекании тока в землю	4	-	-	-	-	Текущий контроль
5	6	Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях	-	-	-	-	-	
6	6	Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях	5	2	Лабораторный стенд “Исследование электробезопасности в сетях трехфазного тока напряжением до 1000 В”	Изучить порядок выполнения лабораторной работы	1	Текущий контроль
7	7	Защитное заземление	6	-	-			Текущий контроль

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семина.)	лаборат.		содерж.	часы	
1	2 3	Первая помощь пострадавшим от электрического тока. Механизм воздействия электрического тока на человека.	1 2	- 1	Руководящий документ (РД) (электронная версия) Лабораторный стенд “Исследование электрического сопротивления тела человека”	Изучить РД  Изучить порядок выполнения лабораторной работы	1  1	Текущий контроль
8	7	Защитное заземление	-	3	Лабораторный стенд “Исследование защитного заземления”	Изучить порядок выполнения лабораторной работы	1	Текущий контроль
9	8	Зануление	7	-	-			Текущий контроль
10	8	Зануление	-	4	Лабораторный стенд “Исследование зануления”	Изучить порядок выполнения лабораторной работы	1	Промежуточный контроль
11	9	Защитное отключение	-	-	-	-	-	Текущий контроль
12	9	Защитное отключение	-	-	-	-	-	
13	10	Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления	8	-	Защитные средства	Изучить средства защиты	1	Текущий контроль
14	11	Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в установках сверхвысокого напряжения	8	-	Защитные средства	-	-	Текущий контроль
15	12	Защита от статического электричества	-	-	-	-	-	

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семина.)	лаборат.		содерж.	часы	
1	2  3	Первая помощь пострадавшим от электрического тока. Механизм воздействия электрического тока на человека.	1  2	-  1	Руководящий документ (РД) (электронная версия) Лабораторный стенд “Исследование электрического сопротивления тела человека”	Изучить РД  Изучить порядок выполнения лабораторной работы	1  1	Текущий контроль
16	13	Защита электроустановок, зданий и сооружений, а также территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества	9	-	-	-	-	Текущий контроль
17	14	Нормативные правовые акты по электробезопасности	-	-	-	-	-	Промежуточный контроль
18	15	Организация безопасной эксплуатации электроустановок	-	-	-	-	-	

### 1. Основные критерии оценки знаний студентов по дисциплине “Электробезопасность”

Студенты обязаны сдать зачет в строгом соответствии с учебным планом, а также утвержденным программам, едиными для всех форм обучения.

Зачет по дисциплине “Электробезопасность” служит формой контроля усвоения дисциплины в целом.

К зачету допускаются студенты, выполнившие и защитившие в полном объеме лабораторные работы и сдавшие расчетно-графическую работу.

Сроки проведения зачета устанавливаются графиком учебного процесса, утвержденным проректором по учебной работе.

Знания, умения и навыки обучающегося определяются оценками «зачтено» и «не зачтено». Критерии приведены в таблице.

#### Основные критерии оценки знаний студентов

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
--------	--	---------------------

	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов
«зачтено»	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями
	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов
«не зачтено»	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы

## 2. График самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине

№ темы	Наименование темы	Контрольное время для самостоятельной проработки теоретических вопросов по изучаемым темам	Контрольное время выполнения индивидуального задания для РГР	Контрольные точки проверки самостоятельной проработки теоретических вопросов по изучаемым темам
1	Электротравматизм, его учет и характеристика	2 неделя	16-17 недели	1-ая контрольная точка
2	Первая помощь пострадавшим от электрического тока	2 неделя		2-ая контрольная точка
3	Механизм воздействия электрического тока на человека	2 неделя		
4	Статическое электричество	3 неделя		
5	Явления при стекании тока в землю	4 неделя		
6	Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях	6 неделя		
7	Защитное заземление	8 неделя		
8	Зануление	10 неделя		
9	Защитное отключение	12 неделя		
10	Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления	13 неделя		
11	Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в установках сверхвысокого напряжения	14 неделя		зачет
12	Защита от статического электричества	15 неделя		
13	Защита электроустановок, зданий и сооружений, а также территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества	16 неделя		
14	Нормативные правовые акты по электробезопасности	17 неделя		
15	Организация безопасной эксплуатации электроустановок	18 неделя		

### 3. Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы

Методические рекомендации для выполнения студентами самостоятельной работы изложены в рабочей программе дисциплины “Электробезопасность” п.п. 2.3 - 2.7.

### 4. Методические рекомендации по выполнению лабораторных занятий

К выполнению лабораторных работ по п. 2.4 допускаются студенты, изучившие порядок выполнения работ и оборудование к лабораторной работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ТОКУ

**Цель работы:** определить основные параметры электрического сопротивления тела человека. Исследовать влияние частоты тока и площади электродов на величину сопротивления.

**Оборудование:**

универсальный лабораторный стенд по электробезопасности.

### Измерительные приборы:

вольтметр.

#### Пояснения к расчету

При эксплуатации электроустановок возможно прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением. В этом случае ток, проходящий через тело человека, может быть определен по формуле

$$I = \frac{U_{np}}{Z_{\text{ч}}} \quad (1)$$

где  $I_{\text{ч}}$  – сила тока, проходящего через человека, А;

$U_{np}$  – напряжение прикосновения, В;

$Z_{\text{ч}}$  – полное сопротивление тела человека, Ом.

Полное сопротивление тела человека определяется сопротивлением наружных слоев кожи  $Z_{\text{к}}$  и сопротивлением подкожных (внутренних) тканей  $R_{\text{в}}$ . Кожный покров обладает активной  $R_{\text{к}}$  и емкостной  $X_{\text{к}}$  составляющими. Полное сопротивление тела человека, прикоснувшегося к электродам, упрощенно можно представить эквивалентной электрической схемой, приведенной на рис. 1.

Электрическая схема сопротивления тела человека по пути тока «рука-рука»

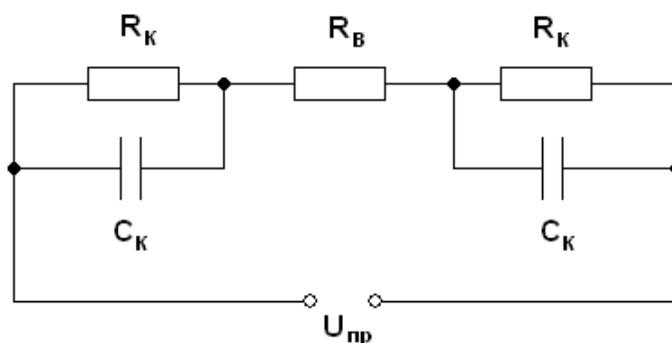


Рис. 1.

Таким образом полное сопротивление тела человека для пути тока «рука-рука» можно определить по формуле

$$Z_{\text{ч}} = 2Z_{\text{к}} + R_{\text{в}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{к}}$  – сопротивление кожного покрова, Ом;

$R_{\text{в}}$  – сопротивление внутренних тканей, Ом.

Откуда сопротивление кожного покрова

$$Z_{\text{к}} = \frac{Z_{\text{ч}} - R_{\text{в}}}{2}.$$

(3)

Сопротивление кожного покрова обладает активной  $R_k$  и емкостной  $X_k$  составляющими

$$Z_k = R_k + X_k \quad (4)$$

С учетом того, что емкостная составляющая сопротивления кожного покрова определяется как

$$X_k = \frac{1}{2\pi f C_k} \quad (5)$$

где  $C_k$  – емкость наружного слоя кожи, Ф;  
 $f$  – частота приложенного напряжения, Гц, получим

$$Z_k = \frac{R_k}{\sqrt{1 + (2\pi f C_k R_k)^2}} \quad (6)$$

Для измерения сопротивления  $R_b$  можно использовать токи высокой частоты. Действительно, как следует из формул (2) и (6), при увеличении частоты ( $f \rightarrow \infty$ ) значение сопротивления кожного покрова  $Z_k \rightarrow 0$  и полное сопротивление тела человека равно

$$Z_u(f \rightarrow \infty) \approx R_b \quad (7)$$

При уменьшении частоты ( $f \rightarrow 0$ ) полное сопротивление тела человека постоянному току следует вычислить по формуле

$$Z_u(f = 0) = 2R_k + R_b \quad (8)$$

откуда

$$R_k = \frac{Z_u(f = 0) - R_b}{2} \quad (9)$$

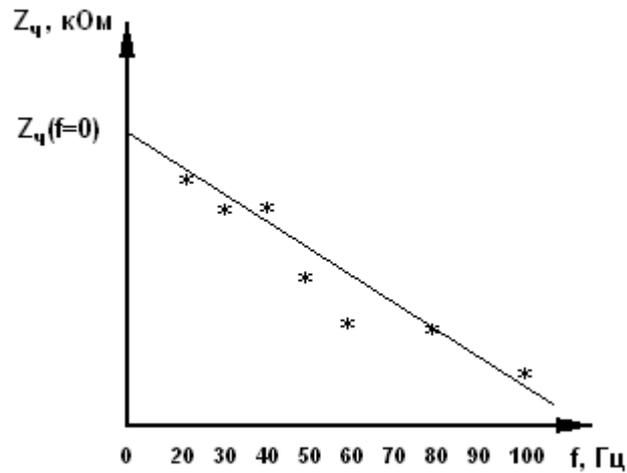
Для определения  $Z_u(f \rightarrow 0)$  можно использовать метод экстраполяции. Для этого в линейном масштабе прямоугольных координат  $Z_u$  и  $f$  по измеренным данным строится график зависимости полного сопротивления тела от частоты тока в диапазоне  $f = 20 \div 100$  Гц (см. рис. 2).

Экстраполяцию можно провести аналитически, например, используя метод наименьших квадратов.

Из (6) следует, что выражение для расчета емкости наружного слоя кожи имеет следующий вид

$$C_k = \frac{\sqrt{R_k^2 - Z_k^2}}{2\pi f C_k R_k} \quad (10)$$

Зависимость полного сопротивления  
тела человека от частоты тока

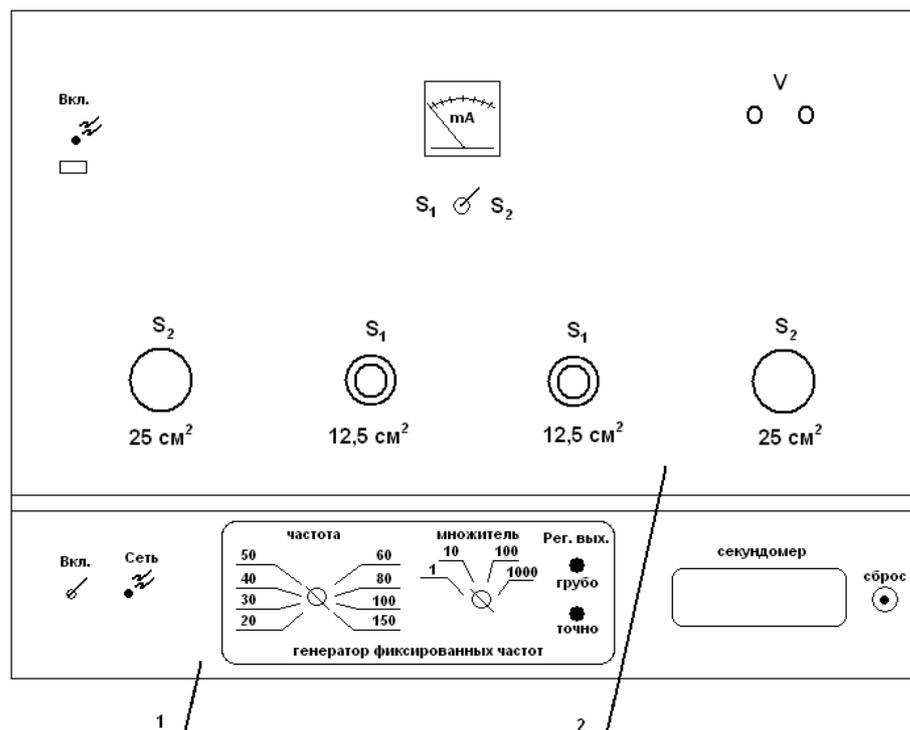


\* – экспериментальные значения.

Рис. 2.

Пояснения к обозначениям на панели стенда

Внешний вид стенда «Исследование сопротивления тела человека электрическому току» приведен на рис. 3.



### Рисунок 3.

Органы управления и их назначение:

- тумблер «ВКЛ» на основном блоке – подача напряжения на основной блок;
- кнопка «СЕТЬ» – подача напряжения на съемный блок;
- тумблер «S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>» – подключение к схеме соответствующих дисков-электродов S<sub>1</sub> или S<sub>2</sub>;
- кнопка «СБРОС» – сброс показаний секундомера;
- ручки «ГРУБО», «ТОЧНО» – установка величины тока в электрической цепи.

**Внимание!** Подключение блока питания стенда к основному блоку и к электрической сети осуществляет преподаватель.

### ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И ПОРЯДОК РАБОТЫ НА СТЕНДЕ

1. Соединить шнур питания стенда с сетью. Включить на базовом блоке тумблер «СЕТЬ». При этом на блоке загорается светодиод, свидетельствующий о готовности стенда к работе.

2. Установить ручку «РЕГ. ВХОДА» генератора в крайнее левое положение. При этом вольтметр должен показать «0» В.

3. Переключателем П1 подключить к схеме соответствующие диски-электроды S<sub>1</sub>=12,5 см<sup>2</sup> или S<sub>2</sub>=25,0 см<sup>2</sup>. Один из испытуемых (член бригады, выполняющей работу) кладет руки на диски-электроды, подключенные к схеме переключателем П1.

**Внимание!** В процессе измерений необходимо стремиться к тому, чтобы плотность прижатия рук к дискам-электродам была постоянна в течение всего опыта.

4. С помощью переключателей «ЧАСТОТА» и «МНОЖИТЕЛЬ» генератора установить соответствующую частоту тока. Медленно вращая вправо ручки «РЕГ. ВЫХОДА», установить заданное преподавателем значение тока в цепи, контролируя его значение по миллиамперметру на сменной панели.

Произвести считывание показаний вольтметра.

Ручку «РЕГ. ВЫХОДА» генератора вернуть в крайнее левое положение.

Установить следующую заданную частоту тока или площадь дисков-электродов и продолжить эксперимент. Результаты измерений занести в табл. 2.

Для заданной преподавателем частоты определить сопротивление тока человека в зависимости от величины проходящего тока I<sub>ч</sub>. Результаты измерений занести в табл. 3.

### Обработка результатов измерений

1. Определить полное сопротивление тела человека.

2. По данным табл. 2 построить графики зависимостей:

$$Z_{1ч} = \varphi(f) \text{ при } S_1 = 12,5 \text{ см}^2;$$

$$Z_{2ч} = \varphi(f) \text{ при } S_2 = 25,0 \text{ см}^2.$$

*Примечание.* Частоту следует откладывать в логарифмическом масштабе.

3. По формуле (7) определить внутреннее сопротивление тела человека R<sub>в</sub>.

4. Определить сопротивление тела человека постоянному току Z<sub>ч</sub>(f=0) методом наименьших квадратов или методом графической экстраполяции (рис. 2).

5. По формуле (9) рассчитать активное сопротивление наружного слоя кожи R<sub>к</sub>.

6. По формуле (3) определить полное сопротивление кожи Z<sub>к</sub> на частоте, заданной преподавателем.

7. По формуле (10) определить емкость наружного слоя кожи  $C_k$ , а по  $C_k$  – емкостное сопротивление кожного покрова  $X_k$ .

8. Полученные значения основных параметров электрического сопротивления тела человека занести в табл. 4.

9. На электрической схеме сопротивления тела человека для пути «рука-рука», представленной на рис. 1, указать значения сопротивлений кожного покрова, внутренних тканей и емкости кожного покрова, полученных при выполнении лабораторной работы.

10. По данным табл. 2 построить график и охарактеризовать зависимость полного сопротивления тела человека от величины тока и площади электродов (линейная, нелинейная и т.п.).

11. Сделать общие выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислить составляющие, определяющие электрическое сопротивление тела человека.
2. Как изменится сопротивление тела человека при загрязнении кожного покрова?
3. Как изменится сопротивление тела человека при повреждении кожи?
4. Как изменится полное сопротивление тела человека при увеличении частоты приложенного напряжения?
5. Составьте эквивалентную схему сопротивления тела человека при пути тока «рука-нога».
6. Как зависит сопротивление тела человека от площади электродов и частоты приложенного напряжения?

### ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

#### Исследование сопротивления тела человека электрическому току

1. Основные понятия.
2. Приборы.

Таблица 1

Приборы для измерения исследуемых параметров

Контролируемый параметр	Прибор	Тип прибора	Погрешность измерения

3. Результаты замеров.

Таблица 2

Влияние частоты тока и площади дисков-электродов на величину полного сопротивления кожного покрова при  $I_{ч} = \text{const}$

Частота, Гц	lg f	Сопротивление тела человека $Z_{ч}$ , и напряжение U при площади дисков-электродов S			
		$S_1 = 12,5 \text{ см}^2$		$S_2 = 25 \text{ см}^2$	
		U, В	$Z_{ч}$ , кОм	U, В	$Z_{ч}$ , кОм
20					
30					
40					
...					

Таблица 3

Влияние величины тока, протекающего через тело человека,  
на полное сопротивление тела человека для  $f=\text{const}$

I, мА		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
U, В	S <sub>1</sub> =12,5 см <sup>2</sup>						
	S <sub>2</sub> =25 см <sup>2</sup>						
Z <sub>ч</sub> , кОм	S <sub>1</sub> =12,5 см <sup>2</sup>						
	S <sub>2</sub> =25 см <sup>2</sup>						

#### 4. Обработка результатов измерений.

Таблица 4

Параметры электрического сопротивления тела человека

Площадь электродов, см <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> , кОм	Z(f=0), кОм	R <sub>к</sub> , кОм	Частота тока f, кГц			
				Z <sub>ч</sub> , кОм	Z <sub>к</sub> , кОм	C, мкФ	X <sub>с</sub> , кОм
				S <sub>1</sub> =12,5			
S <sub>2</sub> =25,0							

5. Эквивалентная электрическая схема сопротивления тела человека для пути «рука-рука».

### В ы в о д ы:

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В ПРИ ОДНОПОЛЮСНОМ ПРИКОСНОВЕНИИ

#### **Цель работы:**

изучить влияние параметров сети на исход поражения человека электрическим током в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью.

#### **Оборудование:**

универсальный лабораторный стенд по электробезопасности.

#### **Измерительные приборы:** вольтметр.

#### *Пояснения к расчету*

Ток, проходящий через тело человека, касающегося одной из фаз трехфазной сети с изолированной нейтралью при равенстве сопротивлений изоляции и емкостей проводов фаз относительно земли  $r_A=r_B=r_C=r$ ;  $C_A=C_B=C_C=C$  определяется по формуле:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} \cdot \sqrt{(1+r(r+6R_{\phi}))/9R_{\phi}^2(1+r^2\omega^2C^2)}} \quad (1)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение, В;

$R_\text{ч}$  – сопротивление тела человека, Ом;

$\omega$  – круговая частота ( $\omega=2\pi f$ ,  $f=50$  Гц), рад/сек.

Ток, проходящий через тело человека, касающегося одной из фаз трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, определяется по формуле:

$$I_\text{ч} = \frac{U_\phi}{R_\text{ч} + R_0}$$

(2)

где  $R_0$  – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

#### *Пояснения к обозначениям на панели стенда*

Внешний вид стенда «Исследование электробезопасности в сетях трехфазного тока напряжением до 1000 В» приведен на рис. 1. Органы управления и их назначение:

- тумблер «ВКЛ» на основном блоке – подача напряжения на основной блок;
- кнопка «СЕТЬ» – подача напряжения на съемный блок;
- тумблер  $R_0$  – выбор режима нейтрали;
- тумблер «ЗАМЫКАНИЕ» – имитация аварийного режима (появление напряжения на корпусе электроустановки);
- переключатели  $r_a$   $r_b$   $r_c$   $C_a$   $C_b$   $C_c$  – установка величины сопротивления и емкости фаз относительно земли;
- переключатель  $R_\text{ч}$  – установка величины электрического сопротивления тела человека.

**Внимание!** Подключение блока питания стенда к основному блоку и к электрической сети осуществляет преподаватель.

### ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И ПОРЯДОК РАБОТЫ НА СТЕНДЕ

#### 1. Исследование сети с изолированной нейтралью.

1.1. Поставить переключатель  $r_a$   $r_b$   $r_c$   $R_\text{ч}$  в положение « $\infty$ », а переключатели  $C_a$   $C_b$  и  $C_c$  в положение «0». Тумблер  $R_0$  – в положение «ВЫКЛ».

Включить на стенде тумблер «СЕТЬ», а на вертикальной панели нажать кнопку «СЕТЬ». О готовности стенда к работе сигнализирует лампочка на блоке, а на вертикальной панели загорается светодиод.

Измерить с помощью вольтметра напряжение  $U_\phi$  сети (для расчета по п.1.2).

**Внимание!** Показания вольтметра при измерении напряжения умножить на 10.

1.2. Рассчитать ток (см. пояснение к расчету), протекающий через тело человека при однополюсном прикосновении. Данные для расчета приведены в табл. 1. Вариант задания определяет преподаватель. Сопротивление тела человека  $R_\text{ч}$  задается преподавателем. Величина напряжения сети  $U_\phi$  определяется в п.1.1.

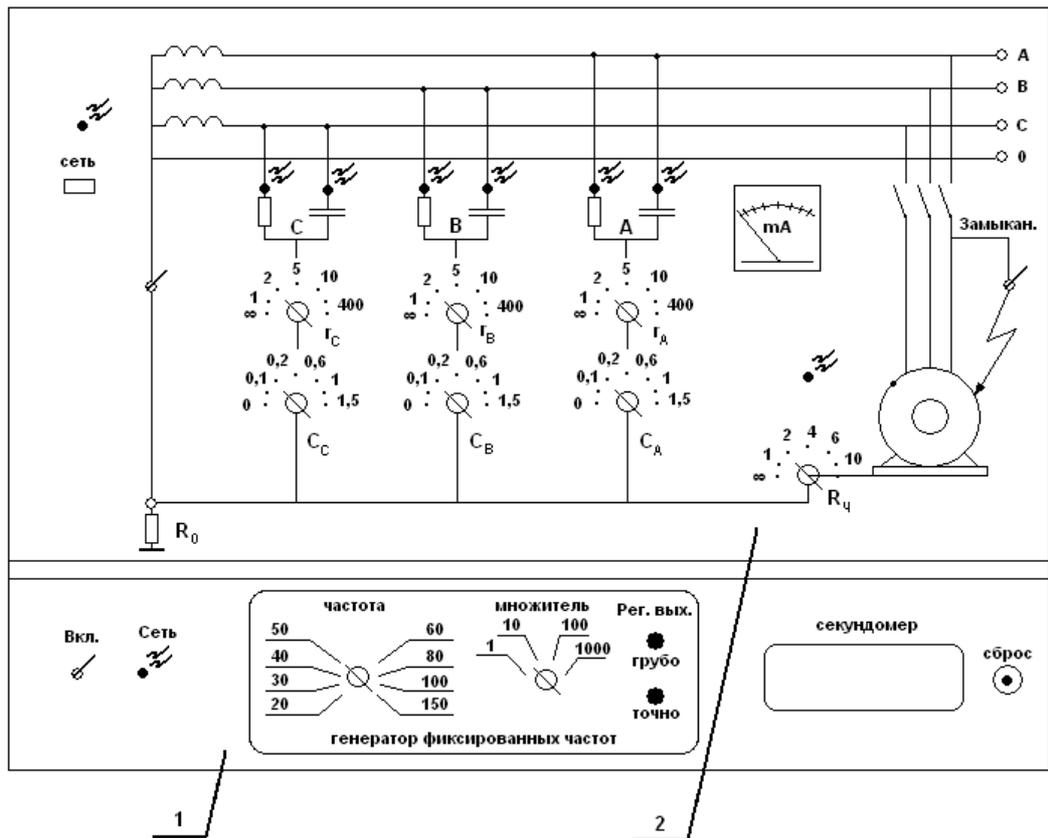


Рисунок 1.

Таблица 1

Варианты заданий		
Номер варианта	Сопротивление фаз относительно земли $r$ , кОм	Емкость фаз относительно земли $C$ , мкФ
1	$\infty$	0,1
2	1	0
3	5	0
4	$\infty$	0,2
5	2	0
6	10	0
7	$\infty$	0,5
8	400	0
9	10	0
10	$\infty$	1
11	2	0
12	5	0
13	$\infty$	1,5
14	10	0
15	$\infty$	0,5
16	400	0

1.3. Включить на вертикальной панели тумблер «ЗАМЫКАНИЕ». О появлении

напряжения на корпусе электродвигателя свидетельствует загорание светодиода.

Исследовать зависимость величины протекающего через человека тока и напряжения прикосновения от:

а) величины сопротивления  $r_A=r_B=r_C=r$  изоляции фаз

$$I_{\text{ч}}=f(r) \text{ и } U_{\text{пр}}=f(r) \text{ при } C_A=C_B=C_C=\text{const} \text{ и } R_{\text{ч}}=\text{const}.$$

Результаты измерений записать в табл.2.

б) величины емкости  $C_A=C_B=C_C=C$  фаз относительно земли

$$I_{\text{ч}}=f(C) \text{ и } U_{\text{пр}}=f(C) \text{ при } r_A=r_B=r_C=\text{const} \text{ и } R_{\text{ч}}=\text{const}.$$

Результаты измерений занести в табл. 3.

1.4. Выключить на вертикальной панели тумблер «ЗАМЫКАНИЕ».

1.5. Построить по данным табл. 2 и 3 графики зависимостей:  $I_{\text{ч}}=f(r)$  и  $U_{\text{пр}}=f(r)$  при  $C_A=C_B=C_C=\text{const}$ ,  $R_{\text{ч}}=\text{const}$ .  $I_{\text{ч}}=f(C)$  и  $U_{\text{пр}}=f(C)$  при  $r_A=r_B=r_C=\text{const}$ ,  $R_{\text{ч}}=\text{const}$ .

1.6. Результаты расчета по п.1.2 сравнить с экспериментальными данными, полученными в п.1.3.

1.7. По результатам п. 1.5 сделать вывод о влиянии сопротивления  $r$  и емкости  $C$  фаз относительно земли на степень опасности прикосновения человека к корпусу электрооборудования в сетях с изолированной нейтралью.

## 2. Исследование сети с глухозаземленной нейтралью

2.1. Перевести тумблер на вертикальной панели « $R_0$ » в положение «ВКЛ.». Величина  $R_0$  устанавливается в соответствии с требованиями ПУЭ.

2.2. Поставить переключатели  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$ ,  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $C_C$  в положение в соответствии с заданием преподавателя.

2.3. Рассчитать ток, протекающий через человека при однополюсном прикосновении (см. пояснения к расчету и п.1.1).

2.4. Включить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ». При этом на корпусе электродвигателя загорается светодиод, свидетельствующий об аварии.

2.5. Исследовать зависимость величины протекающего через человека тока и напряжения прикосновения:

$$I_{\text{ч}}=f(R_{\text{ч}}) \text{ и } U_{\text{пр}}=f(R_{\text{ч}}) \text{ при } C_A=C_B=C_C=\text{const} \text{ } r_A=r_B=r_C=\text{const}$$

Результаты измерений занести в табл. 4 и по ним построить графики зависимости.

Результаты расчета по п.2.3 сравнить с экспериментальными данными.

2.6. Поставить переключатели  $r_A=r_B=r_C=r$  в положение « $\infty$ », а переключатели  $C_A=C_B=C_C=C$  – в положение «0».

2.7. Исследовать зависимость величины протекающего через человека тока и напряжения прикосновения:

$$I_{\text{ч}}=f(R_{\text{ч}}) \text{ и } U_{\text{пр}}=f(R_{\text{ч}}) \text{ при } C_A=C_B=C_C=0, \text{ } r_A=r_B=r_C=\infty$$

Результаты измерений занести в таблицу 4. Сравнить результаты расчета с экспериментальными данными.

2.8. Выключить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ».

2.9. Выключить стенд.

2.10. Построить по результатам п.2.5. и п.2.7. графики зависимостей:

$$I_{\text{ч}}=f(R_{\text{ч}}) \text{ при } C_A=C_B=C_C=C=\text{const};$$

$$U_{\text{пр}}=f(R_{\text{ч}}) \text{ при } r_A=r_B=r_C=r=\text{const}.$$

2.11. Сделать выводы о влиянии сопротивления  $r$  и емкости  $C$  фаз относительно земли на степень опасности прикосновения человека к корпусу электрооборудования в сетях с глухозаземленной нейтралью.

2.12. На основании полученных результатов проанализировать степень опасности прикосновения человека к корпусу электрооборудования для различных режимов нейтрали

сети.

#### Контрольные вопросы

1. Дайте определение сетей с изолированной нейтралью.
2. От каких параметров сети с изолированной нейтралью зависит исход поражения человека электрическим током?
3. Дайте определение сетей с глухозаземленной нейтралью.
4. Какими параметрами определяется исход поражения человека электрическим током в сети с глухозаземленной нейтралью?
5. В каких случаях используют сети с изолированной и заземленной нейтралью?
6. Дайте сравнительную оценку опасности сетей с изолированной и заземленной нейтралью в случае нормального состояния изоляции фаз.

### ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2

Исследование электробезопасности в сетях трехфазного тока напряжением до 1000 В при однополюсном прикосновении

#### Основные понятия

(Нормирование напряжений прикосновения и токов по ГОСТ 12.1.038-82\* «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и тока».)

#### Используемое оборудование.

#### Результаты исследований

1. Сеть с изолированной нейтралью.
- 1.1. Результаты измерений.

Таблица 2

Влияние сопротивления фаз относительно земли на величину тока и напряжения прикосновения

		г, кОм	$\infty$	1	2	5	10	400
С, мкФ	R <sub>ч</sub> , кОм	I <sub>ч</sub> , mA						
		U <sub>пр</sub> , В						
С, мкФ	R <sub>ч</sub> , кОм	I <sub>ч</sub> , mA						
		U <sub>пр</sub> , В						

Таблица 3

Влияние емкости фаз относительно земли на величину тока и напряжения прикосновения

		С, мкФ	0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5
г, кОм	R <sub>ч</sub> , кОм	I <sub>ч</sub> , mA						
		U <sub>пр</sub> , В						
г, кОм	R <sub>ч</sub> , кОм	I <sub>ч</sub> , mA						
		U <sub>пр</sub> , В						

- 1.2. Зависимость силы тока, протекающего через тело человека, и напряжения прикос-

новения от величины сопротивления изоляции фаз относительно земли ( $C_A=C_B=C_C=C$ ,  $R_q=const$ )

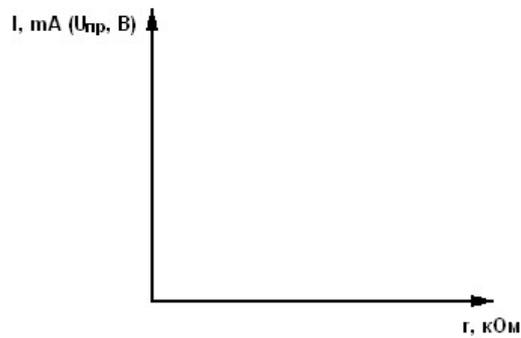


Рис.2.

1.3. Зависимость силы тока, протекающего через тело человека, и напряжения прикосновения от величины емкости фаз относительно земли ( $r_A=r_B=r_C=r=const$ ,  $R_q=const$ )

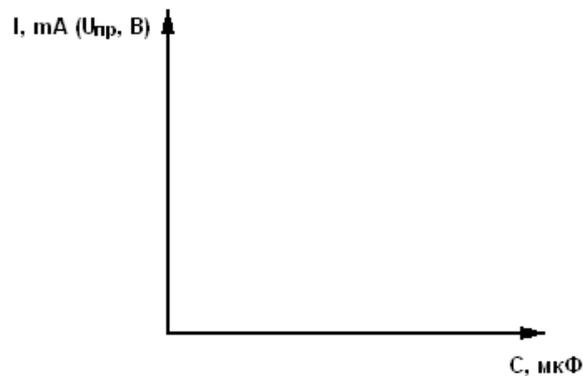


Рис.3.

2. Сеть с глухозаземленной нейтралью.

2.1. Результаты измерений.

Таблица 4

Влияние сопротивления тела человека на  
величину тока и напряжения прикосновения

		$R_q, кОм$	$\infty$	1	2	4	6	10
$C, мкФ$	$r, кОм$	$I_{ч}, mA$						
		$U_{пр}, В$						
$C, мкФ$	$r, кОм$	$I_{ч}, mA$						
		$U_{пр}, В$						

2.2. Зависимость силы тока, протекающего через тело человека, и напряжения прикосновения от величины сопротивления тела человека  $C_A=C_B=C_C=const$  и  $r_A=r_B=r_C=const$ .

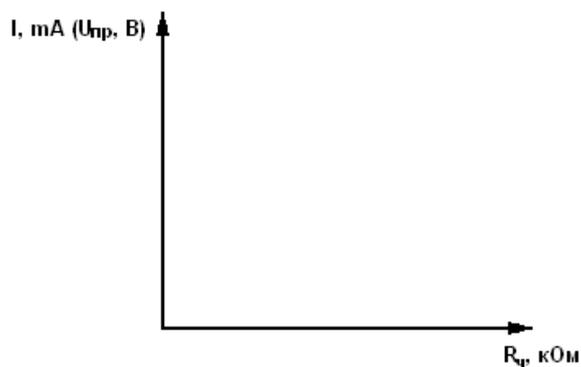


Рис.4.

### В ы в о д ы:

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3, 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАНУЛЕНИЯ И ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

### **Цель работы:**

ознакомиться с устройством, назначением и основными характеристиками защитного заземления и зануления в электроустановках напряжением до 1000 В;

уяснить влияние параметров защитного заземления и зануления на исход поражения человека электрическим током.

**Оборудование:** универсальный лабораторный стенд по электробезопасности.

**Измерительные приборы:** вольтметр.

### *Пояснения к обозначениям на панели стенда*

Внешний вид стенда по «Исследованию эффективности зануления и защитного заземления» приведен на рис.1.

Органы управления и их назначение:

- тумблер «ВКЛ» на основном блоке – подача напряжения на основной блок;
- кнопка «СЕТЬ» – подача напряжения на съемный блок;
- тумблеры «ЗАМЫКАНИЕ 1» и «ЗАМЫКАНИЕ 2» – имитация аварийных режимов (появление напряжения на корпусах электроустановок);
- тумблер «ЗАНУЛЕНИЕ» – подключение корпуса электроустановки к нулевому проводу;
- тумблер «ОБРЫВ» – имитация обрыва нулевого провода;
- тумблер « $R_3$ » – установка защитного заземления;
- переключатель « $R_0$ » – установка величины сопротивления рабочего заземления;
- переключатель « $R_ч$ » – установка величины электрического сопротивления тела человека;
- переключатель « $R_з$ » – установка величины сопротивления защитного заземления;
- переключатель « $R_п$ » – установка величины сопротивления повторного заземления нулевого провода;
- переключатель « $Z_п$ » – установка величины сопротивления петли «фаза-нуль».

**Внимание!** Подключение блока питания стенда к основному блоку и к электрической сети осуществляет преподаватель.

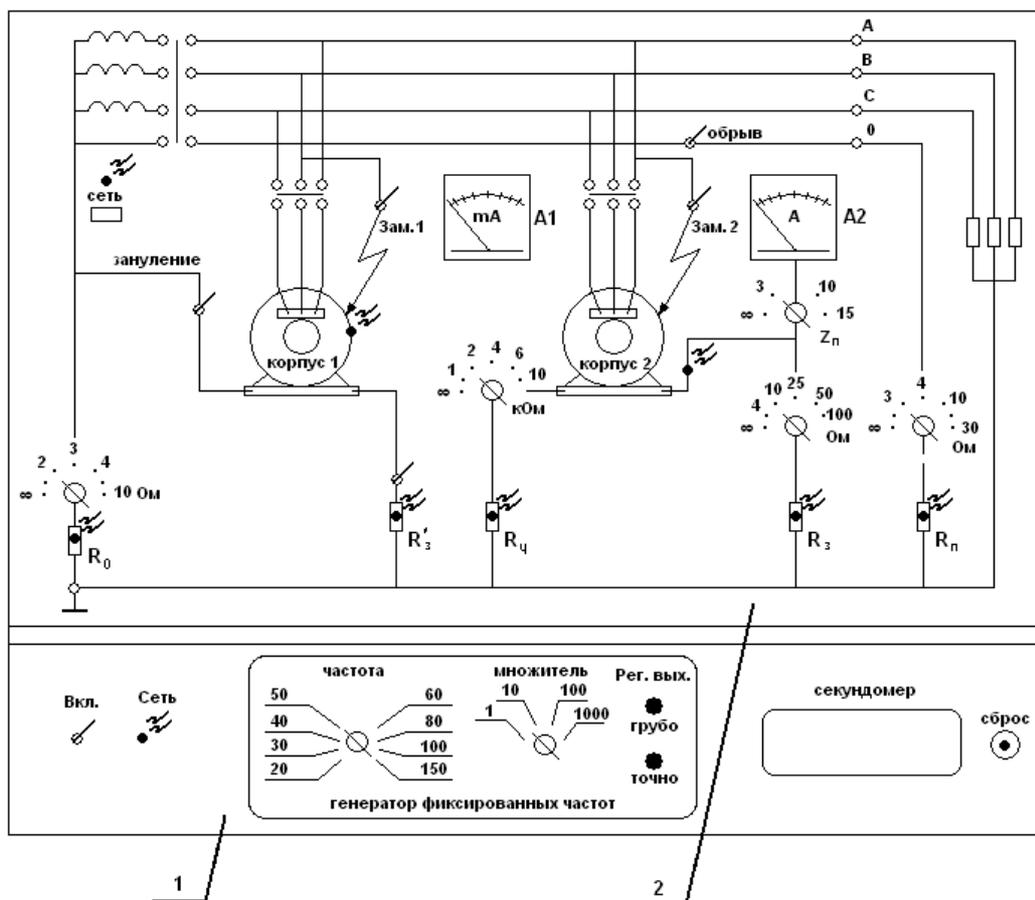


Рисунок 1. Внешний вид стенда.

## ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И ПОРЯДОК РАБОТЫ НА СТЕНДЕ

### 1. Сеть с глухозаземленной нейтралью

1.1. Определить величину напряжения прикосновения при различных сопротивлениях петли «фаза-нуль» и время отключения электродвигателя.

**Внимание!** Показания вольтметра при измерении напряжения умножить на 10.

1.1.1. Поставить переключатели  $R_n$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_0$  – в положение « $\infty$ »; тумблеры «ОБРЫВ», «ЗАНУЛЕНИЕ», « $R_3$ », «ЗАМЫКАНИЕ 1» и «ЗАМЫКАНИЕ 2» – в положение «ВЫКЛ.»

1.1.2. Включить тумблер «СЕТЬ» на блоке и кнопку «СЕТЬ» на вертикальной панели. О готовности стенда к работе свидетельствует загорание лампочки на блоке и светодиода на вертикальной панели.

1.1.3. Проверить работоспособность стенда.

Включить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2». При этом на корпусе 2 электродвигателя загорается светодиод, свидетельствующий о том, что корпус находится под напряжением.

Установить переключатель « $Z_n$ » в положение 3 Ом и убедиться в срабатывании автомата защиты.

1.1.4. Привести схему в исходное состояние:

- выключить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2»;
- дважды нажать на вертикальной панели кнопку «СЕТЬ».

1.1.5. Переключатель « $Z_n$ » установить в положение « $\infty$ », переключатель « $R_n$ » – в положение 1 кОм, тумблер «ЗАЗЕМЛЕНИЕ» – в положение «ВЫКЛ.», переключатели « $R_n$ », « $R_0$ » – в одно из положений, указанных преподавателем ( $R_n=3$  Ом; 4 Ом; 10 Ом; 30 Ом;  $R_0=2$  Ом; 3 Ом; 4 Ом; 10 Ом).

1.1.6. Вращением правой ручки, расположенной на амперметре А2, установить красную стрелку на заданное преподавателем значение номинального тока уставки  $I_y$  расцепителя автомата.

1.1.7. Включить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2» и по амперметру А2 зафиксировать ток короткого замыкания в цепи «ФАЗА-НУЛЬ».

1.1.8. По миллиамперметру А1 измерить ток, протекающий через тело человека, и по секундомеру – время отключения электродвигателя.

**Внимание!** Если электродвигатель не отключается в течение 30 с, то время отключения считать бесконечным.

1.1.9. Измерить напряжение прикосновения на электродвигателе 1 и 2.

**Внимание!** В случае отключения электродвигателя измерению подлежит только время отключения.

1.1.10. Привести схему в исходное состояние в соответствии с п. 1.1.4.

Нажать на секундомере кнопку «СБРОС» и повторить аналогичное измерение (пп. 1.1.7 – 1.1.9) для различных значений  $Z_n$ .

1.1.11. Результаты измерений записать в табл.2.

1.1.12. По результатам измерений построить зависимости:

$$U_{\text{пр1}}=Y(Z_n); U_{\text{пр2}}=Y(Z_n); I_{\text{ч}}=Y(Z_n); t_{\text{отк}}=Y(Z_n).$$

1.1.13. По результатам измерений сделать вывод о влиянии  $Z_n$  на величину напряжения прикосновения, на силу тока через человека и на время отключения электродвигателя.

1.1.14. Привести схему в исходное состояние в соответствии с п.1.1.4.

1.2. Определить влияние повторного заземления нулевого провода на величину напряжения прикосновения при обрыве и при отсутствии обрыва нулевого провода.

1.2.1. Установить переключатели  $Z_n$  в положение 10 Ом,  $R_0$  в положение 4 Ом,  $R_n$  – в положение 1 кОм, тумблер «ЗАЗЕМЛЕНИЕ» – вкл., «ОБРЫВ» – вкл.

1.2.2. Включить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2».

1.2.3. Изменяя величину  $R_n$ , измерить  $I_{\text{кз}}$ ,  $I_{\text{ч}}$ ,  $U_{\text{пр1}}$ ,  $U_{\text{пр2}}$  и данные записать в табл. 3.

1.2.4. Выключить тумблер «ОБРЫВ» и, проведя аналогичные измерения, заполнить табл. 4.

1.2.5. Выключить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2» и привести схему в исходное состояние.

1.2.6. По результатам измерений построить зависимости  $U_{\text{пр1}}=Y(R_n)$ ,  $U_{\text{пр2}}=Y(R_n)$  для случаев с обрывом и без обрыва нулевого провода.

1.2.7. Сделать вывод о роли повторного заземления нулевого провода и опасности его обрыва. Сравнить полученные результаты со случаем отсутствия повторного заземления нулевого провода  $R_n \rightarrow \infty$ .

## 2. Сеть с изолированной нейтралью

2.1. Определить зависимость величины тока, протекающего через человека, от величины сопротивления защитного заземления.

2.1.1. Поставить переключатели « $R_0$ », « $R_n$ », « $Z_n$ », « $R_3$ » – в положение « $\infty$ », «ЗАМЫКАНИЕ 1», «ЗАМЫКАНИЕ 2» – выкл., «ЗАНУЛЕНИЕ», « $R_3'$ » – выкл., «ОБРЫВ» – выкл.

2.1.2. Переключатель « $R_3$ » поставить в положение 4 Ом, « $R_n$ » – в положение по заданию преподавателя. Включить тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2» и по миллиамперметру А1 измерить ток, протекающий через тело человека. Провести аналогичные измерения при положении переключателя « $R_3$ » – (25, 50, 100) Ом. Результаты измерения занести в табл. 5.

2.1.3. Построить график зависимости  $I_{\text{ч}}=Y(R_3)$  и указать на нем область неотпускающего и фибрилляционного токов.

2.1.4. По данным измерений оценить опасность увеличения  $R_3$  выше допустимого сопротивления.

#### Контрольные вопросы

1. Что называется напряжением прикосновения?
2. Что такое защитное заземление? Каковы его функции?
3. Что такое защитное зануление? Чем оно отличается от защитного заземления?
4. В каких сетях трехфазного тока применяется защитное заземление?
5. В каких сетях трехфазного тока применяется зануление?
6. Как осуществляется нормирование допустимых величин защитного заземления?
7. Какие параметры необходимо учитывать при проектировании зануления?
8. Каким образом осуществляется нормирование допустимых значений напряжений прикосновений и токов?

### ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3,4

Исследование эффективности зануления и защитного заземления.

**Основные понятия:** (нормирование параметров защитного заземления и зануления).

**Приборы:**

Таблица 1

#### Приборы для измерения исследуемых параметров

Контролируемый параметр	Наименование прибора	Тип прибора	Погрешность измерений

Результаты проведения замеров:

Таблица 2

#### Влияние сопротивления цепи “фаза-нуль” $z_n$ на величину напряжения прикосновения и время отключения

$z_n$ , Ом	Ток уставки $I_y$ , А	Время срабатывания защиты, с	$U_{\text{пр1}}$ , В	$U_{\text{пр2}}$ , В	$I_{\text{кз}}$ , А	$I_2$ , МА	$R_0$ , Ом	$R_n$ , Ом	$R_{\text{ч}}$ , кОм
15									
10									
3									

Таблица 3

Влияние величины сопротивления повторного заземления  $R_n$  на напряжение прикосновения при обрыве нулевого провода

$R_n$ , Ом	$I_{\text{кз}}$ , А	$I_{\text{ч}}$ , МА	$U_{\text{пр1}}$ , В	$U_{\text{пр2}}$ , В
3				
4				
10				
30				
$\infty$				

Таблица 4

Влияние величины сопротивления повторного заземления  $R_n$  на напряжение прикосновения при отсутствии обрыва нулевого провода

$R_n, \text{ Ом}$	$I_{кз}, \text{ А}$	$I_{ч}, \text{ мА}$	$U_{пр1}, \text{ В}$	$U_{пр2}, \text{ В}$
3				
4				
10				
30				
$\infty$				

Таблица 5

Влияние величины сопротивления заземлителя  $R_3$  на силу тока  $I_{ч}$ , протекающего через тело человека

$R_3, \text{ Ом}$	$R_{ч}, \text{ кОм}$	$I_{ч}, \text{ мА}$
4		
25		
50		
100		
$\infty$		

Зависимость напряжений прикосновений, силы тока, протекающего через тело человека, и времени отключения электродвигателя от величины сопротивления «фаза-нуль».

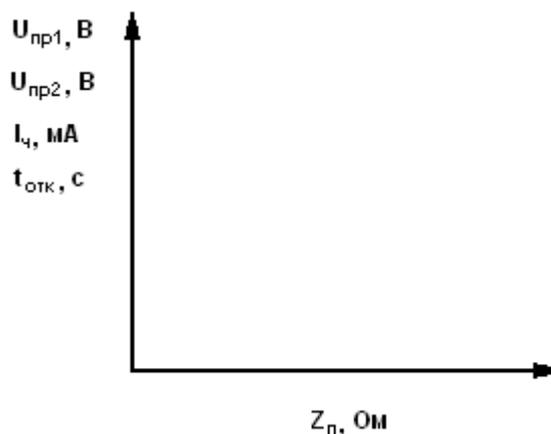


Рис. 2.

Зависимость напряжений прикосновений и силы тока, протекающего через тело человека, от величины сопротивления повторного заземления

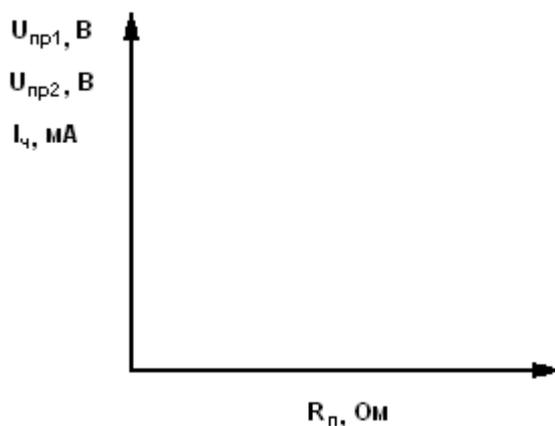


Рис. 3.

Зависимость силы тока, протекающего через тело человека, от величины сопротивления заземлителя

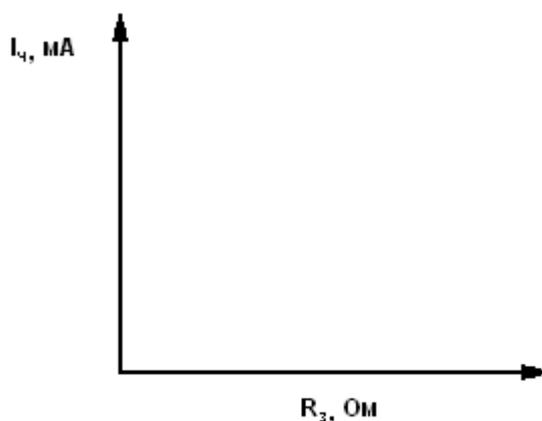


Рис. 4.

### В ы в о д ы:

#### 5. Методические рекомендации по выполнению практических занятий Практические занятия

Методические указания к решению задач и выполнению расчетно-графических работ приведены в:

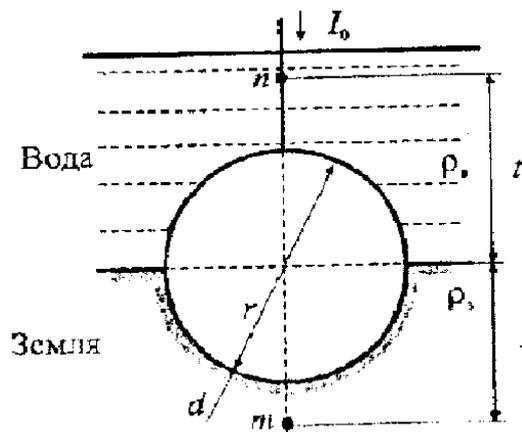
Долин П.А., Медведев В.Т., Корочков В.В. Электробезопасность: задачник: Учебное пособие / Под ред. Проф. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2003. – 215 с.: ил.

#### Тема 1. Одиночные заземлители.

**Задача 1.** Доказать, что сопротивление вертикального стержневого заземлителя  $R$  при увеличении его длины  $L$  уменьшается больше, чем при увеличении его диаметра  $d$ . Привести значения сопротивлений и построить кривые (графики) зависимостей  $R=f(L)$  и  $R=f(d)$ . За исходный взять стержневой заземлитель круглого сечения диаметром  $d=0,01$  м;

первоначальное заглубление стержня в землю принять  $L=2$  м; кратность увеличения размеров – 1, 2, 3, 4; удельное сопротивление земли считать  $\rho=100$  Ом•м.

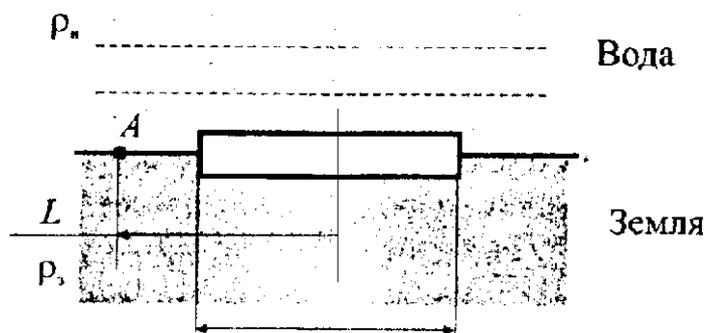
**Задача 2.** Сферический электрод, на который по изолированному проводу подается ток, лежит на дне моря на весьма большой глубине. Диаметр шара  $d=0,2$  м, стекающий с шара ток  $I_0=300$  А, удельное сопротивление воды  $\rho_в=1$  Ом•м, земли  $\rho_з=99$  Ом•м, расстояние от центра сферы до точек  $n$  и  $m$  одинаковы  $t=2$  м. Определить потенциалы  $\varphi_n$  и  $\varphi_m$  в точках  $n$  и  $m$  соответственно, вывести уравнение и вычислить с его помощью сопротивление растеканию рассматриваемого сферического электрода  $r_{ш}$ .



**Задача 3.** В качестве заземлителя использован металлический тонкий диск, который опущен на дно непромерзающего озера весьма большой глубины, при которой поверхность озера не влияет на характер растекания тока с заземлителя. Аварийный ток идет к заземлителю по изолированному проводу.

Дано: диаметр диска  $D=1$  м; ток, стекающий с диска,  $I_0=471$  А; удельное сопротивление воды  $\rho_в=50$  Ом•м; удельное сопротивление земли  $\rho_з=100$  Ом•м; расстояние от центра диска до точки  $A$   $L=2,5$  м.

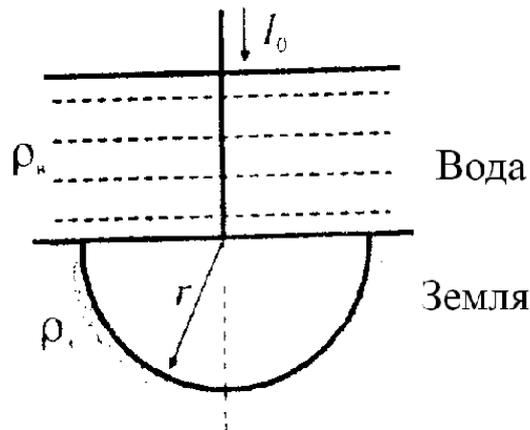
Требуется: определить потенциал  $\varphi_A$  точки  $A$ , находящейся на дне озера на расстоянии  $L$  от центра диска; вывести формулу и вычислить с ее помощью сопротивление  $r_з$ , Ом, растеканию тока с заземлителя-диска.



**Задача 4.** Полушаровой заземлитель радиусом  $r$  размещен на дне водоема (моря, озера, реки) на весьма большой глубине, при которой можно пренебречь влиянием поверхности воды на характер растекания тока с заземлителя. Ток к заземлителю подается по изолированному проводу.

Дано: радиус заземлителя  $r=0,25$  м; удельное сопротивление воды  $\rho_v=60$  Ом·м; удельное сопротивление земли  $\rho_3=180$  Ом·м.

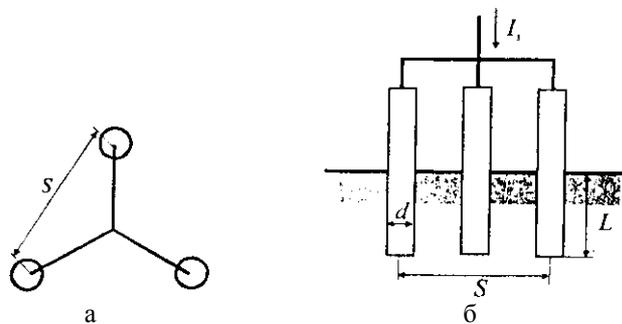
Требуется: вывести уравнение и вычислить сопротивление заземлителя  $R_3$ .



## Тема 2. Групповые заземлители.

**Задача 5.** Ток  $I_3=60$  А стекает в землю через групповой заземлитель, состоящий из трех соединенных между собой одинаковых стержневых электродов диаметром  $d=0,05$  м. Стержни забиты в землю на глубину  $L=2$  м и размещены в вершинах равностороннего треугольника. Земля однородная, ее удельное сопротивление  $\rho=100$  Ом·м.

Требуется: определить потенциал группового заземлителя  $\phi_3$  и коэффициент использования его проводимости  $\eta$  для двух случаев: при расстоянии между центрами электродов  $S=2$  м 10 м.



Групповой заземлитель, состоящий из трех стержневых вертикальных электродов, размещенных в вершинах равностороннего треугольника: а – вид сверху; б – вид сбоку.

**Задача 6.** Два полушаровых заземлителя (электрода) расположены на расстоянии друг от друга (расстоянии между их центрами)  $S=5$  м. Они соединены между собой проводником, и с каждого из них стекает ток  $I=5$  А.

Дано: радиусы заземлителей  $r=0,05$  м; земля однородная, ее удельное сопротивление  $\rho=50$  Ом·м; длина шага человека  $a=0,8$  м.

Требуется: определить потенциалы электродов, их сопротивления стеканию тока, а также максимальные значения напряжений прикосновения и шага для человека, находящегося между заземлителями на прямой, соединяющей их центры.

Указания: вычисление произвести, полагая, что сопротивление стеканию тока с ног человека и сопротивление его обуви равны нулю; изобразить схему размещения электродов, потенциальные кривые и буквенные обозначения величин.

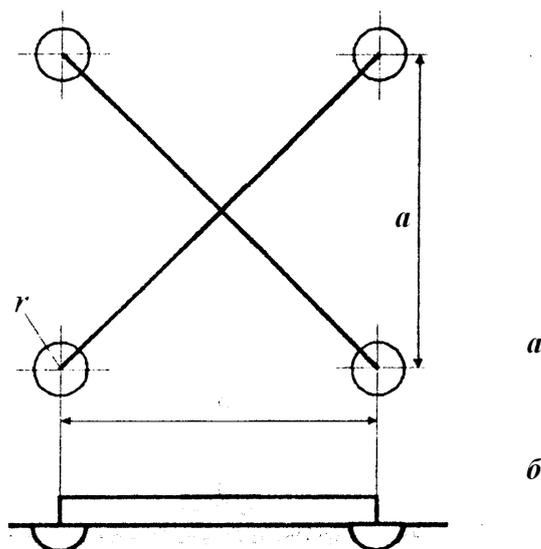
**Задача 7.** Два одинаковых стержневых заземлителя (электрода) круглого сечения забиты в землю вертикально на всю их длину. Расстояние между их центрами  $S=5$  м. Электроды соединены между собой проводником, с каждого из них в землю стекает ток  $I=5$  А.

Дано: длины электродов  $L=5$  м; диаметры электродов  $d=0,05$  м; земля однородная, ее удельное сопротивление  $\rho=100$  Ом·м; длина шага человека  $a=0,8$  м.

Требуется: определить потенциалы электродов, их сопротивления стеканию тока, а также максимальные значения напряжений прикосновения и шага для человека, находящегося между электродами на прямой, соединяющей их центры.

Указания: вычисление произвести, полагая, что сопротивление стеканию тока с ног человека и сопротивление его обуви равны нулю; изобразить схему размещения электродов, потенциальные кривые и буквенные обозначения величин.

**Задача 8.** Вычислить коэффициент использования и сопротивление группового заземлителя, состоящего из четырех полушаровых электродов, расположенных в вершинах квадрата со стороной  $a=3$  м. Радиус электродов  $r=0,5$  м, земля однородная, ее удельное сопротивление  $\rho=57$  Ом·м.



Групповой заземли, состоящий из четырех полушаровых электродов, размещенных в вершинах квадрата: а – вид сверху; б – вид сбоку.

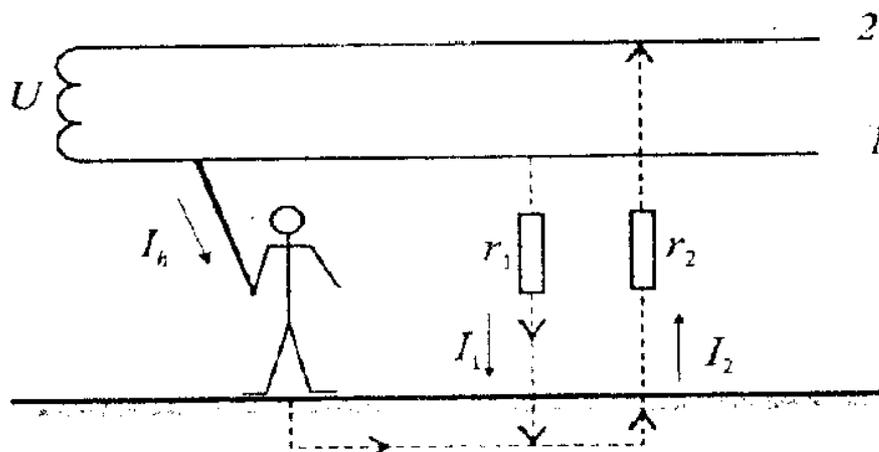
### Тема 3. Анализ опасности поражения током в электрических сетях.

**Задача 9.** Стоя на земле (на токопроводящем основании), человек прикоснулся к одному из проводов однофазной двухпроводной электрической сети, изолированной от земли, при нормальном режиме ее работы.

Дано: первый случай:  $r_1=60$  кОм,  $r_2=15$  кОм; второй случай:  $r_1=15$  кОм,  $r_2=60$  кОм; напряжение сети (между проводами)  $U=660$  В; сопротивление тела человека  $R_h=1000$  Ом.

Требуется: определить ток  $I_h$ , прошедший через тело человека, для двух значений сопротивления изоляции проводов относительно земли. Выяснить, в каком случае опасность поражения человека током выше – при прикосновении к проводу с большим или к проводу с меньшим сопротивлением изоляции относительно земли.

Указания: принять сопротивление основания, на котором стоит человек, а также емкость проводов сети относительно земли равными нулю.



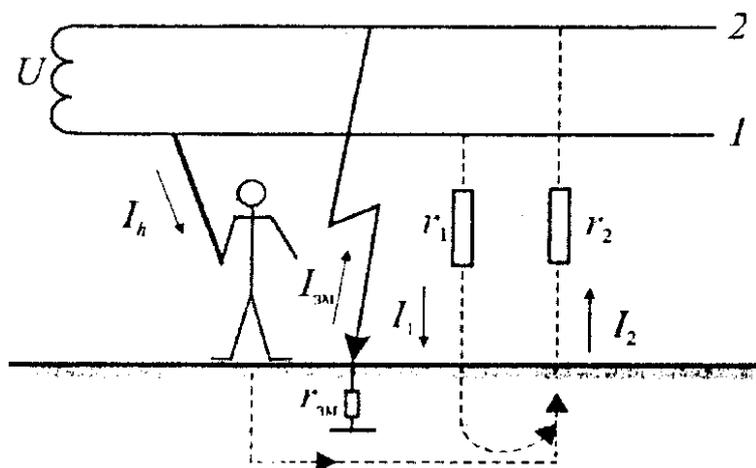
**Задача 10.** Стоя на земле (на токопроводящем основании), человек прикоснулся к одному из проводов однофазной двухпроводной сети, изолированной от земли, во время замыкания провода на землю.

Дано: напряжение сети (между проводами)  $U=660$  В; сопротивление изоляции проводов относительно земли (до замыкания провода на землю)  $r_1=r_2=30$  кОм; сопротивление замыкания провода на землю  $r_{зм}=60$  Ом; сопротивление тела человека  $R_h=1000$  Ом.

Требуется: определить ток  $I_h$ , прошедший через тело человека, в двух случаях: 1) человек касается провода, замкнувшегося на землю; 2) человек касается провода с неповрежденной изоляцией.

Выяснить, в каком случае опасность поражения человека током выше – при прикосновении к проводу с большим сопротивлением изоляции (т.е. с неповрежденной изоляцией) или с меньшим сопротивлением (к проводу, замкнувшемуся на землю).

Указания: принять сопротивление основания, на котором стоит человек, а также емкость проводов относительно земли равными нулю.

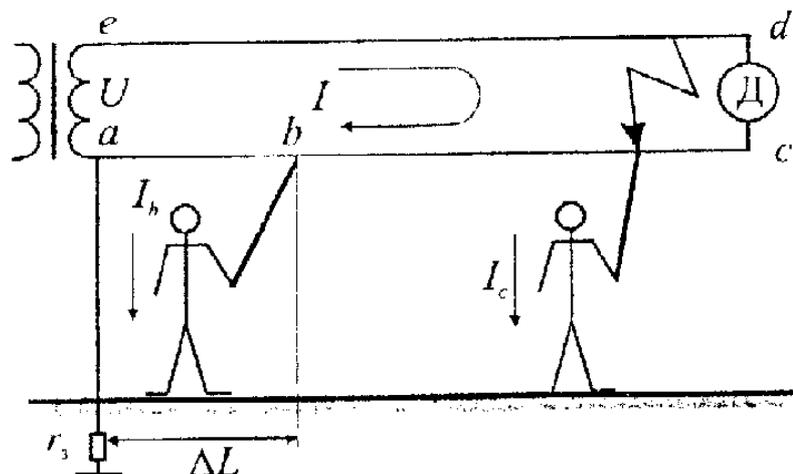


**Задача 11.** Требуется: определить значение тока, прошедшего через тело человека, прикоснувшегося к заземленному проводу однофазной двухпроводной сети в точке b, а затем в точке c: 1) при нормальной работе сети; 2) при замыкании между проводами.

Дано: напряжение сети (между проводами)  $U=220$  В; сопротивление тела человека  $R_h=1000$  Ом; суммарная длина обоих проводов  $L=100$  м; провода медные сечением  $S=10$  мм<sup>2</sup>; удельное сопротивление меди  $\rho=0,017$  Ом·мм<sup>2</sup>/м; длина участка a-b заземленного провода  $\Delta L=30$  м; потеря напряжения, установленная при выборе проводов сети во время

проектирования (сооружения),  $\Delta U=5\%$ ; активная мощность, потребляемая двигателем,  $P=18$  кВт; сопротивление заземления провода  $r_3=4$  Ом; коэффициент мощности электродвигателя, питающегося от рассматриваемой сети,  $\cos\varphi=0,8$ .

Указания: проводимости изоляции и емкости проводов относительно земли незначительны, поэтому ими можно пренебречь.



**Задача 12.** Определить напряжение прикосновения для человека, стоящего на полусферическом заземлителе в токопроводящей обуви и касающегося токоведущей части.

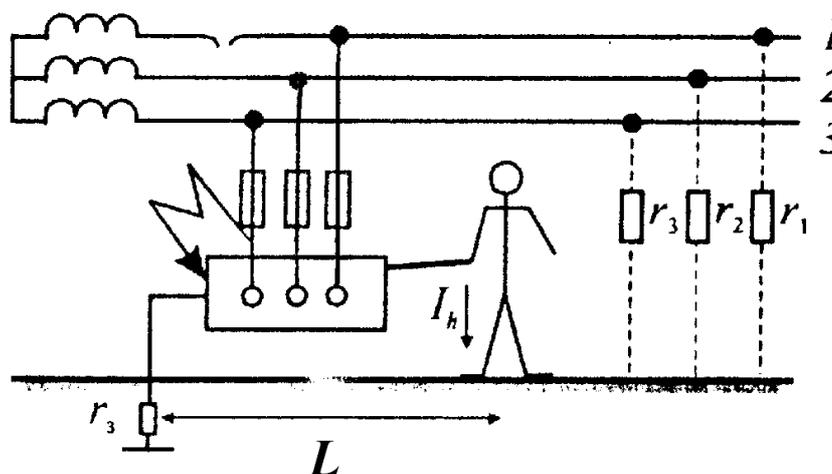
Дано: радиус каждого заземлителя  $r=0,05$  м; расстояния между соседними заземлителями  $x=1,0$  м; ток, проходящий по схеме в землю,  $I_0=0,5$  А; земля однородная с удельным сопротивлением  $\rho = 1000$  Ом·м.

**Задача 13.** В трехфазной сети с изолированной нейтралью произошел обрыв фазы 1 в непосредственной близости от питающего трансформатора. В это же время возникло короткое замыкание 3 на заземленный корпус электродвигателя, которого касался человек.

Дано: напряжение сети  $U=380$  В; сопротивление заземления корпуса потребителя электроэнергии  $r_3=52$  Ом; сопротивление изоляции фаз сети относительно земли  $r_3=512$  Ом,  $r_2=490$  Ом; сопротивление тела человека  $R_h=1000$  Ом; удельное сопротивление земли  $\rho=120$  Ом·м; расстояние от человека до заземлителя  $L \geq 20$  м.

Требуется: определить ток  $I_h$ , прошедший через тело человека.

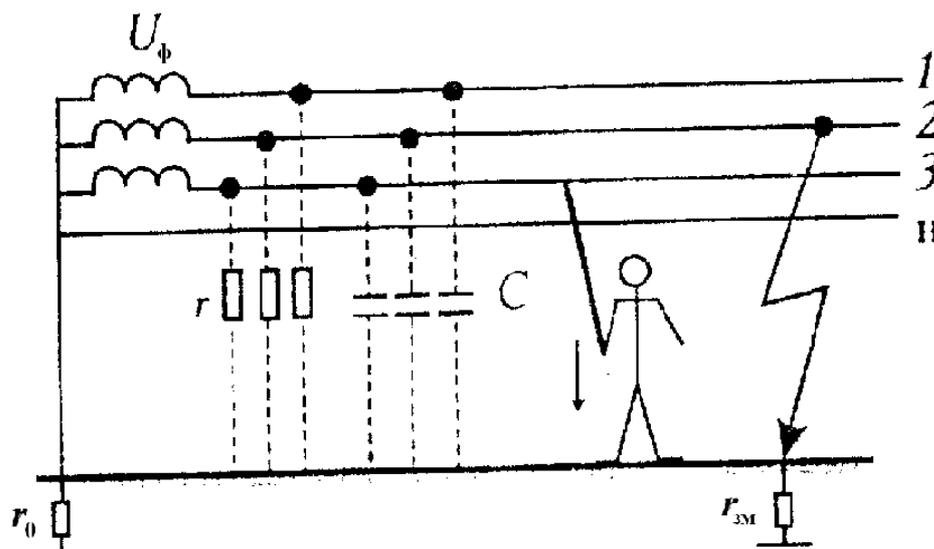
Указания: сопротивление обуви пострадавшего принять равным нулю.



**Задача 14.** В трехфазной четырехпроводной электрической сети с заземленной нейтралью напряжением 380/220 В произошло замыкание одной из фаз на землю; в это же время человек прикоснулся к другой фазе сети.

Дано: сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли соответственно равны:  $r_1=r_2=r_3=10^4$  Ом,  $C_1=C_2=C_3=0,1$  мкФ; сопротивление замыкания провода на землю  $r_{зм}=150$  Ом; сопротивление заземления нейтралей питающего трансформатора  $r_0=4$  Ом; сопротивление тела человека  $R_h=850$  Ом; расстояния от человека до заземлителя нейтралей трансформатора и до места замыкания фазы на землю превышают 20 м; сопротивления основания, на котором стоит человек, и его обуви равны нулю.

Требуется: определить ток, прошедший через тело человека, и его напряжение прикосновения.

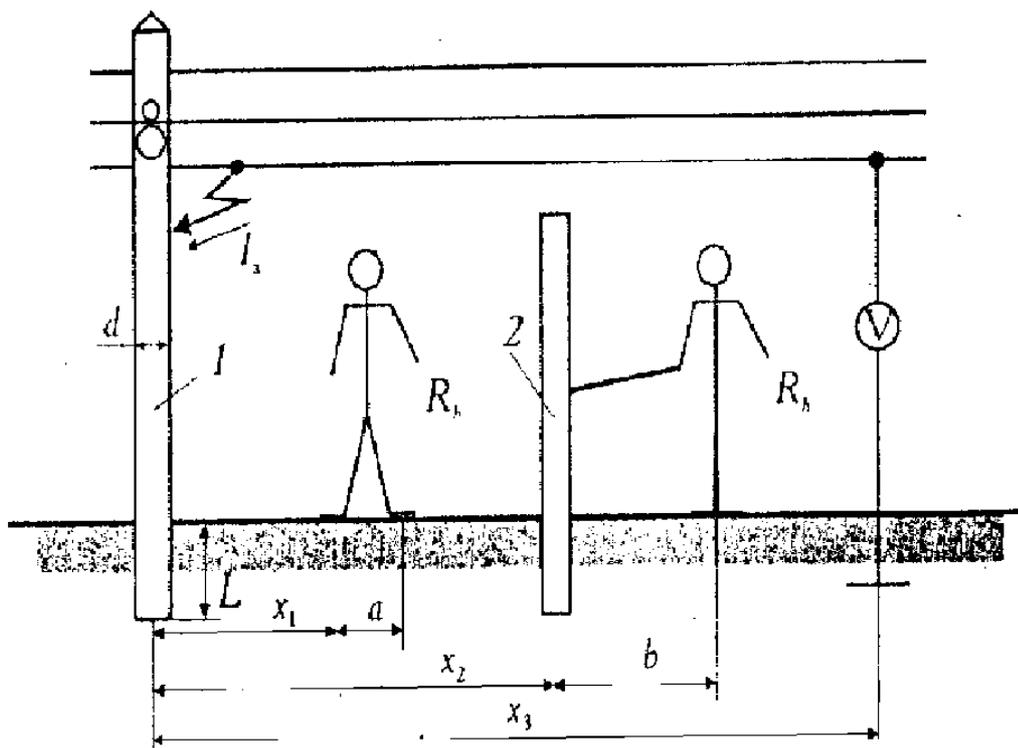


#### Тема 4. Несчастные случаи с людьми от воздействия электрического тока.

**Задача 15.** На воздушной линии электропередачи (ВЛ) с металлическими опорами круглого сечения произошло замыкание фазного провода на тело опоры. При этом воздействию тока подверглись два человека: первый, идущий к опоре, на которую произошло замыкание, и находившийся на расстоянии  $x_1$  от нее, и второй, касавшийся металлической стойки забора, закрепленной в земле и отстоящей от центра опоры ВЛ на расстоянии  $x_2$ .

Дано: ток, стекающий с опоры в землю,  $I=50$  А; заглубление опоры в землю  $L=2$  м; диаметр опоры  $d=0,2$  м; удельное сопротивление земли  $\rho=100$  Ом·м; сопротивление тела человека  $R_h=1000$  Ом; длина шага  $a=0,8$  м; расстояния:  $x_1=2$  м;  $x_2=4$  м,  $b=1,0$  м,  $x_3=45$  м.

Требуется: определить напряжение шага для первого человека и напряжение прикосновения для второго человека; в обоих случаях учесть сопротивления оснований, на которых находились эти люди. Необходимо также определить потенциал стойки и показание вольтметра.



Случай воздействия электрического тока на людей, оказавшихся вблизи металлической опоры ВЛ, на которую произошло замыкание провода: 1 - опора линии круглого сечения; 2 - металлическая стойка забора

**Задача 16.** Электромонтер, производя измерительные работы в трехфазной трехпроводной электросети напряжением 660 В с изолированной нейтралью, случайно замкнул одну из фаз на землю и оказался под напряжением этой фазы.

Дано: сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли  $r_1=r_2=r_3=r=3000 \text{ Ом}$ ,  $C_1=C_2=C_3=C=1,2 \text{ мкФ}$ ; сопротивление замыкания провода на землю  $r_{\text{зм}}=180 \text{ Ом}$ ; сопротивление тела человека  $R_h=800 \text{ Ом}$ ; удельное сопротивление земли  $\rho=80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; расстояние от человека до места замыкания фазы на землю 20 м; сопротивление обуви пострадавшего  $R_{\text{об}}=0$ .

Требуется: определить ток, протекавший через тело пострадавшего, и его напряжение прикосновения без учета и с учетом сопротивления основания.

### Тема 5. Защитное заземление.

**Задача 70.** Для строящейся понижающей трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ городской кабельной сети решено соорудить заземлитель контурного типа. Заземлитель будет содержать 10 вертикальных электродов – отрезков угловой стали с  $b=50 \text{ мм}$ , длиной каждый  $L_n=3 \text{ м}$  и горизонтальный электрод – стальную полосу сечением  $4 \times 20=80 \text{ мм}^2$ , длиной  $L_r=50 \text{ м}$ , соединяющую вертикальные электроды.

На подстанции будут установлены два трехфазных трансформатора, работающих параллельно при изолированных нейтралях со стороны высшего напряжения и глухозаземленных нейтралях со стороны 400 В.

Дано: протяженность питающей кабельной сети 10 кВ  $L=40 \text{ км}$ , воздушная сеть отсутствует; удельное сопротивление земли, измеренное при повышенной влажности земли,  $\rho=65 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; расстояния между соседними вертикальными электродами  $a=5 \text{ м}$ ; глубина

погружения в землю верхнего конца вертикального электрода и глубина погружения горизонтального электрода  $t=0,8$  м.

Требуется: рассчитать сопротивление заземлителя с целью проверки его соответствия требованиям ПУЭ. При этом следует иметь в виду, что заземлитель должен быть пригоден для установок как до 1000 В, так и выше 1000 В – вплоть до 35 кВ, т.е. его сопротивление  $r_z$ , не должно быть выше 4 Ом в первом случае и  $125/I_3 \leq 10$  Ом во втором (где  $I_3$  – ток замыкания на землю, А).

Расчет выполнить методом коэффициентов использования по допустимому сопротивлению; земля – однородная.

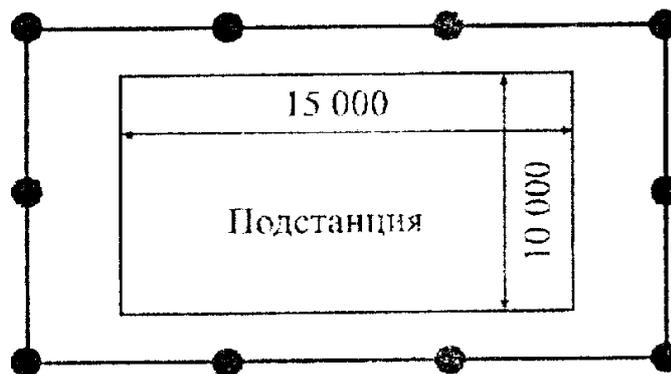


Схема контурного заземлителя понижающей трансформаторной подстанции 10/0,4 кВт.

## 6. Содержание курса лекций по дисциплине

### Тема 1. Электротравматизм, его учет и характеристика (самостоятельно)

#### *Первые представления об опасности электрического тока.*

О том, что электрический разряд действует на человека, стало очевидным в последней четверти XVIII века. Одно из первых обстоятельных описаний этого действия принадлежит Ж. Марату, видному деятелю Великой французской революции 1789—1794 гг. Англичанин А. Уориш, итальянцы Л. Гальвани, А. Вольта и ряд других ученых установили, что на человека действует разряд, полученный не только от источника статического электричества, но и от электрохимического элемента. Однако никто из названных исследователей не указал на опасность этого действия на человека. Впервые установил эту опасность изобретатель первого в мире электрохимического высоковольтного источника напряжения В. В. Петров.

Создав в петербургской Медико-хирургической академии (ныне Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова) отлично оборудованную для своего времени физическую лабораторию, В. В. Петров приступил к систематическому изучению действия электрического тока на организм животного и человека, а также к разработке мероприятий по защите человека от тока. Закономерно, что именно в этой академии был проведен ряд интересных исследований механизма взаимодействия электрического тока с человеком, имевших, правда, не только защитную, но и терапевтическую направленность.

С первых же номеров основанный в 1880 г. русский журнал «Электричество» начал систематическую публикацию на своих страницах сообщений о несчастных случаях, вызванных электрическим током. Такие же публикации стали появляться и в других русских технических журналах. Например, в журнале «Электротехник» только за период с 1898 по 1903 г. приведены данные более чем о 20 электротравмах, сопровождавшихся тяжелым исходом.

Уже в первые годы развития электротехники была достаточно четко выявлена меньшая опасность постоянного тока. Очень образно об этом написал В. Н. Чиколев:

«Когда вы прикоснетесь к проводнику с постоянным током, то в момент прикосновения вы почувствуете сотрясение, затем вы ничего или очень мало чувствуете, когда через вас проходит ток только когда отнимете руки от проводников, вы снова испытаете такое же сотрясение. Я сам много раз нарочно прикасался к проводникам, чтобы рассеять этот страх, всегда вполне уверенный, что ничего со мной не произойдет. Совсем другое значение имеет переменный ток (или ток постоянного направления, но переменной силы), который изменяет свое направление и силу от 5000 до 10 000 раз в минуту. Прикосновение к таким проводникам действительно производит громадные сотрясения. Физиологическое действие постоянного тока можно сравнить с сильным механическим толчком или ударом, который опасен при очень громадном напряжении удара. Но во сколько раз слабее могут быть толчки, которые потрясут вас 10 000 раз в минуту, чтобы вы испытали страшное расстройство,— таково последствие прикосновения к проводникам с переменным током. Таким образом, опасность существует не от силы тока который пройдет через вас, а, главным образом, от того, будет ли ток постоянный или переменный. Для городской канализации возможны к употреблению проводники с постоянным током, в этом случае страх опасности не существует».

В еще более категорической форме эту мысль В. Н. Чиколев изложил в статье «История электрического освещения», где писал:

«При постоянных токах, какого бы напряжения они ни достигали, невозможны несчастные, иногда смертельные случаи, как при переменных токах».

В. Н. Чиколев считал, что электрический ток опасен не только значением, но и характером нарастания его, причем последнее, по его мнению, представляет большую опасность. Тем самым он предугадал основу современного представления о механизме электротравмы.

Серьезная опасность поражения электрическим током при эксплуатации электротехнического оборудования возникла в результате широкого применения переменного тока частотой 50 Гц. Однако обстоятельных данных о механизме действия электрического тока на человека в то время еще не было. Неизвестны были и достаточно простые и эффективные защитные мероприятия. Поэтому есть все основания считать, что электробезопасность как проблема возникла в последней четверти XIX века, и именно к этому времени относятся первые попытки ее разумного разрешения.

**Первые правила электробезопасности.** В 90-х годах прошлого века по инициативе П. Д. Войнаровского началась разработка правил пользования электрическими устройствами высокого напряжения (до 3000 В). Выбор для критерия 3000 В возник в связи с тем, что большая часть Петербурга питалась от сети напряжением 3000/127 В. Эта работа была окончена в начале 1898 г., а 8 июля того же года были утверждены первые официальные законодательные документы, относившиеся к технике безопасности при устройстве и эксплуатации высоковольтных установок. Они носили название «Временные правила подземной канализации проводов высокого напряжения до 3000 В (от 250 В переменного тока и от 450 В постоянного тока)» и «Временные правила по производству работ и контролю сети подземной канализации проводов высокого напряжения». Доклад о правилах был сделан на Первом Всероссийском электротехническом съезде проф. П. Д. Войнаровским. В обсуждении доклада участвовали врачи-гигиенисты. Было принято весьма прогрессивное по тому времени предложение об обстоятельном расследовании всех случаев поражения людей электрическим током и молнией; причем если поражение привело к смерти пострадавшего, то рекомендовалось обязательное вскрытие и тщательное патологоанатомическое изучение тела пострадавшего. Вынесенные съездом решения относительно поль-

зования электрическими установками и сетями привлекли внимание к профилактике электротравм.

Разработка правил продолжалась и после съезда. Правила расширились и дополнялись с учетом результатов новых исследований по электротехнике, проводившихся в ту пору в России. В период между первым и вторым электротехническим съездами в области электробезопасности была проделана большая работа. Вторым съездом по докладам П. Д. Войнаровского и П. С. Осадчего принят ряд принципиальных решений, относившихся к безопасному обслуживанию электроустановок. Так, за низкое напряжение было принято напряжение ниже 250 В относительно земли, для повышенного установлены пределы (250—750) В, а для высокого — выше 750 В. Прогрессивная роль П. Д. Войнаровского и П. С. Осадчего заключалась в том, что, предлагая нормирование пределов напряжения, они учитывали и необходимость снабжения электротехнических установок защитными средствами, создавая тем самым основы электробезопасности.

В 1911—1912 гг. в Петербурге произошло несколько электротравм, от которых пострадал персонал, обслуживающий электрооборудование театров и кинематографов. Обстоятельства возникновения этих травм привлекли к себе внимание общественности и были подробно рассмотрены в электротехнической секции Русского технического общества. В результате этого были разработаны специальные правила безопасности при обслуживании электрооборудования зрелищных предприятий.

Вклад отечественных ученых в разработку проблем электробезопасности. Очень многое в этом отношении сделал А. А. Смуров. Интерес к вопросам электробезопасности возник у него еще в студенческие годы, что нашло отражение в его дипломном проекте. Затем он продолжал эти работы на кафедре техники высоких напряжений Электротехнического института. На этой кафедре, заведующим которой он был избран в 1919 г., А. А. Смуров исследовал заземляющие устройства, определял опасное влияние линий электропередачи на провода связи, изыскивал наивыгоднейшие в отношении безопасности режимы нейтрали, создавал надежные распределительные устройства. Совместно с ним эти исследования вели С. А. Хаецкий, Н. Н. Белянинов, К. С. Архангельский и И. Г. Фрейман.

Не потеряли научного значения результаты исследований школы А. А. Смурова и сейчас. Это особенно относится к определению электрического сопротивления тела человека. Ему впервые удалось установить нелинейность электрического сопротивления тела человека — эту важнейшую характеристику, используемую при определении поражающих значений напряжений и токов. Только через год после выхода упомянутой монографии Н. Н. Малов и С. Н. Ржевкин, а затем и Х. Фрайбергер получили аналогичные результаты.

Справедливости ради заметим, что монография А. А. Смурова к моменту ее опубликования была не единственным трудом на эту тему. Еще за год до нее увидело свет исследование И. Г. Фреймана «Радиотехника», относящееся к проблеме электробезопасности на радиостанциях. Это исследование посвящено опасностям и вредностям при работе на радиоустановках, а также ограждению людей от возможного поражения электрическим током. И. Г. Фрейман рассмотрел весь комплекс вопросов охраны труда лиц, обслуживающих радиоустановки, указал на возможность не только акустической и электрической травм, но и вредного воздействия электромагнитного излучения поля на зрение. Заслуга И. Г. Фреймана состоит в том, что он первый подчеркнул тесную и непосредственную связь между электробезопасностью и надежностью оборудования. Возможно, именно потому, что на заре развития массового применения радиотехники один из ее основоположников поразительно четко сформулировал главные положения техники безопасности, число электротравм при работе на радиотехнических установках было невелико.

Большой вклад в разработку эффективных методов профилактических испытаний электрооборудования и в решение всего комплекса проблем, объединяемых понятием «электробезопасность», внесли кафедры охраны труда Ленинградского электротехнического

института, Московского энергетического института и других учебных и научных организаций.

В 30-х годах XX века происходит исключительно важное для развития электробезопасности событие — разрабатываются и внедряются «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей». После выхода Правил проведение ряда организационных мероприятий по технике безопасности, в особенности профилактических испытаний электрического оборудования, становится обязательным для электрических станций и сетей всех ведомств.

К концу 30-х годов относится разработка «Правил технической эксплуатации электрооборудования промышленных предприятий». Регламентация эксплуатации электрооборудования, включая и его приемку, сыграла весьма важную роль. Достаточно сказать, что даже в трудные годы войны, когда оборудование эксплуатировалось с перегрузкой, возросла протяженность временных сетей и в промышленность пришло много молодых, неопытных рабочих, удельные показатели, характеризующие электротравматизм, не увеличились.

Огромное значение для повышения электробезопасности в промышленности и энергосистемах имеют вышедшие в 1961 г. и обязательные для всех предприятий и ведомств «Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий» и вышедшее в 1969 г. новое, переработанное издание «Правил технической эксплуатации электростанций и сетей».

Ознакомлению с мероприятиями по электробезопасности способствовали изданные большими тиражами книги В. И. Корольковой (1956 г.), Б. А. Князевского и других, а также, что крайне важно, книги, освещающие специализированную направленность электробезопасности. К ним следует отнести книгу Г. С. Солодовникова. Этому же способствуют публикуемые в ведущих электротехнических журналах материалы, в том числе и дискуссии по спорным вопросам. Регулярно (с 1959 г.) издается сборник научных трудов институтов охраны труда ВЦСПС, в котором большое место отводится исследованиям по электробезопасности, ведущимся во ВНИИ охраны труда ВЦСПС в Ленинграде. Значительно улучшились учет и расследование несчастных случаев после того, как отдел охраны труда ВЦСПС утвердил в 1959 и 1966 гг. соответствующие положения.

Накопленный опыт применения правил эксплуатации и безопасности показывает возможность их переработки и некоторого сокращения. Уменьшение объема информации, которую обязан знать эксплуатационный персонал, несомненно, приведет к более четкому выполнению действительно необходимых требований, а следовательно, снизит аварии и несчастные случаи, относимые к категории «ошибок персонала», внесет большую ясность в оценки ответственности должностных лиц за нарушение правил приемки и эксплуатации электрооборудования. Возможность сокращения объема правил появилась в связи с нарастающим внедрением автоматизации в управление электрооборудованием и сетями.

**Показатели электротравматизма**

Коэффициенты, характеризующие травматизм. Целям учета и анализа травматизма служат следующие общепринятые, и общераспространенные показатели:

- а) коэффициент частоты — число несчастных случаев, пришедшихся за определенный период времени на 1000 работающих;
- б) коэффициент тяжести — число дней потери трудоспособности, пришедшихся за определенный период времени на 1000 работающих.

Использование перечисленных коэффициентов помогает объективной оценке положения дел с травматизмом.

#### ***Данные учета и их использование***

Глубокий систематический анализ данных о поражениях, вызванных электрическим током, и об электротравматизме в целом призван способствовать выявлению очагов травм и разработке целенаправленных профилактических мероприятий. Анализ электро-

травм представляет собой одно из основных направлений эффективного повышения электробезопасности как в целых отраслях хозяйства, так и непосредственно на каждом предприятии в отдельности. Из всех видов телесных повреждений электротравмы относятся к наиболее сложным, наиболее трудно поддающимся анализу. Следует отметить, что электротравмы по условиям возникновения и характеру действия электричества относятся к наиболее сложным травмам, уступая первенство по этим показателям травмам, вызываемым проникающим излучением, особенно при смешанном воздействии излучения и электричества. Расследование электротравм требует разносторонних знаний. Вот почему крайне необходима общая, научно обоснованная методика расследования электротравм и обработки данных их учета.

Существующие нормативные указания упорядочили методику расследования. Важный вклад в это внес Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС (г. Ленинград), разработавший анкету, благодаря которой удалось данные, собранные по Союзу, быстро обрабатывать средствами современной вычислительной техники.

Наиболее Полный анализ электротравматизма проведен в 1978 г. Он осуществлен одиннадцатью организациями, представляющими различные отрасли народного хозяйства. Головной организацией был Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС в Ленинграде. Анализ проводился по единой методической программе, им были охвачены материалы расследования электротравм с тяжелым исходом, оформленные в соответствии с «Положением о расследовании и учете несчастных случаев на производстве». Рассмотрению подверглись «карты электротравм», заполненные в соответствии с «Временными методическими указаниями по расследованию электротравм на производстве». Работа проведена огромная, полезная, поучительная, но в ней, к сожалению, не нашли ответа многие вопросы, освещение которых могло бы способствовать изучению механизма травмирующего действия электрического тока, такие, как: а) метеорологические параметры окружающей среды; б) места на теле человека, через которые возникла (или вероятнее всего возникла) электрическая цепь; в) условия эксплуатации электрооборудования, Первичная документация. Возможность обработки статистических данных на ЭВМ значительно повышает требования к первичной документации, в первую очередь к акту, составляемому представителями: а) инспекций обкомов профсоюзов, б) энергоинспекций энергонадзора энергообъединений и в) администрации (форма Н-1).

Качество первичной документации за последние годы значительно возросло. Приведем для примера улучшенную форму «Акта расследования электротравмы», разработанную Энергоинспекцией Энергонадзора Ленэнерго.

**Акт расследования электротравмы**

Предприятие . . . . .

Адрес . . . . .

Министерство (ведомство) . . . . .

Ответственный за эксплуатацию электрохозяйства и эксплуатацию электрооборудования . . . . .

Подчиненность пострадавшего ответственному за эксплуатацию электрооборудования . . . . .

Составлен техническим инспектором областного комитета профсоюза совместно с инспектором Энергоинспекции Энергонадзора Ленэнерго . . . . .

Представители предприятия, присутствовавшие при расследовании (должность, ФИО) . . . . .

Лица других организаций, привлеченные к расследованию (наименование органа, должность, ФИО) . . . . .

Дата, время и место несчастного случая . . . . .

Учетная группа несчастного случая (с электротехническим персоналом, с производственным персоналом, бытовой) . . . . .

Классификация несчастного случая (групповой, тяжелый, смертельный. Степень тяжести указывается по заключению врача) . . . . .

Сведения о пострадавшем (их):

Фамилия, имя, отчество	Год рождения	Должность, специальность	Стаж работы по специальности		Дата последнего медицинского освидетельствования	Квалификационная группа по ТБ. Дата последней проверки знаний ПТЭ и ПТБ	Дата последнего инструктажа по ТБ
			общий	на данном предприятии			

Документы, предъявленные при расследовании (акты предприятия, объяснительные записки, заключения и другие даются в приложении) . . . . .

Краткое описание электрической части установки, на которой произошел несчастный случай; порядок ее эксплуатации (поясняющая схема или фото прилагаются) . . . . .

Обстоятельства, предшествовавшие несчастному случаю; описание несчастного случая . . . . .

Описание доврачебной помощи пострадавшему (им) (кем, каким способом) . . . . .

Допущенные нарушения ПТЭ и ПТБ электроустановок потребителей и действующих инструкций, послужившие причиной несчастного случая (ФИО и должность лиц, допустивших нарушение, с указанием пункта правил) . . . . .

Предлагаемые мероприятия . . . . .

Приложение: . . . . .

Технический инспектор профсоюза . . . . .  
(подпись)

Инспектор Энергонадзора . . . . .  
(подпись)

«Акт получил»  
Руководитель предприятия . . . . .  
(ФИО, подпись)

Главный инженер . . . . .  
(подпись)

Ответственный за технику безопасности оборудования . . . . .  
(подпись)

« . . . . . » . . . . . 19 г.

Неполнота данных, собираемых при расследовании электротравм. При всех достоинствах приведенной формы акта, а также других нормативных документов, обязательно составляемых при расследовании тяжелых случаев, они обладают одним весьма существенным недостатком: сведений, предусмотренных этими документами, недостаточно для глубокого изучения механизма действия электрического тока на организм человека. Считать такую неполноту этих документов случайностью, как видно, не приходится. Все дело состоит в довольно распространенном до сих пор мнении, будто надобности в этих дополнительных данных не имеется, ибо можно моделировать электротравму в эксперименте на животных.

Несомненно, эксперименты на животных (а их произведено и производится немало) позволили многое выяснить, в результате чего удалось внести известные коррективы в разработку защитных мероприятий и в систему реанимации, особенно при доврачебной помощи. Но данные, получаемые в экспериментах на животных, крайне сложно экстраполировать на реальные условия электротравмы человека. Такая экстраполяция является темой многолетних дискуссий в отношении правильности оценки опасных условий поражения.

Между тем глубокий анализ электротравм имеет важнейшее значение не только для выявления очагов электротравм, но и для корректировки наших представлений об опасности электричества по численным значениям поражающих факторов: напряжения, тока, времени существования электрической цепи и т. д. Крайне важно дальнейшее уточнение на большом и убедительном статистическом материале условий поражения малым напряжением, опасного времени существования электрической цепи и т. д. Однако в технической документации фиксируется напряжение электросети, в зоне действия которой произошла электротравма, но не определяется значение поражающего напряжения, хотя эти напряжения далеко не всегда совпадают.

Поражающее напряжение надо понимать как напряжение, возникшее в электрической цепи непосредственно на теле человека, т. е. с учетом, во-первых, падения напряжения на элементах сопротивления, оказавшихся в этой цепи (обувь, одежда, пол), и, во-вторых, нагрузки сети. Как правило, оно меньше, а иногда и много меньше напряжения электросети.

Отсутствие требований к установлению поражающих напряжений приводит к неправильным записям в актах расследования. К электротравмам (и притом даже с указанием напряжения и рода тока) относят травмы при падении людей с высоты во время работы их на не находящихся под напряжением линиях электропередачи, различные механические травмы, вызванные нарушением работы электрооборудования, и т. п. И, наоборот, электрические удары, т. е. случаи поражения током, не вызывающие потери трудоспособности, вообще не регистрируются.

Значению легких электротравм (электрических ударов) начинают уделять внимание и за рубежом. Так, П. Осипка пытался оценить число таких ударов. По его мнению, в среднем на одного электромонтера оно составляет 3—5 в год. В бывшем СССР оно достигает 7—10 ударов в год.

Регистрация легких механических травм целиком себя оправдала, так как способствует установлению тех или иных нарушений правил охраны труда и техники безопасности и сигнализирует о необходимости профилактических мер, направленных на предотвращение возможных осложнений (например, применение при порезах дезинфицирующих средств, предупреждающих занесение инфекции).

Столь же полезной, более того, необходимой надо считать регистрацию легких электротравм, даже не сопровождавшихся потерей трудоспособности. Такая регистрация способствовала бы, в частности, предоставлению лицам, пострадавшим от электрического удара, дополнительного отдыха или даже других, более активных средств укрепления общего состояния организма.

Как показывает опыт, регистрацию и учет легких травм, включая и электрические удары, не сопровождавшиеся потерей трудоспособности, целесообразно организовать в заводских пунктах медицинской помощи или в поликлиниках, обслуживающих районы расположения предприятий. При этом крайне важно фиксировать не только обстоятельства, непосредственно относящиеся к оказанию врачебной помощи) но и обстоятельства происшествия (хотя бы и кратко).

Среди причин, объясняющих, почему данные расследования электротравм не всегда удается использовать для полноценного анализа электротравматизма, важнее место занимает и недостаточное изучение условий, при которых возник несчастный случай. Особенно плохо то, что акты обследования, как правило, не содержат данных о температуре и влажности помещения и пола, о состоянии одежды и обуви пострадавшего и т. д. Из-за неполноты обследования возможны большие ошибки. Квалифицируя, например, смертельный исход от ожогов, не учитывают, что этот ожог мог быть вызван не электрическим током, прошедшим непосредственно через тело человека, а электрической дугой, вблизи которой оказался пострадавший. Иногда возможно

комбинированное тепловое действие, когда ожог был вызван пламенем электрической дуги и током.

#### Судебно-медицинская экспертиза

**Важность комплексных расследований.** Неполнота сведений, собираемых при электротравмах, объясняется не только несовершенством официальной документации, но и трудностями, связанными со сбором этих сведений. В самом деле, расследование электротравмы будет квалифицированным и полным только в том случае, если к нему приступят сразу же после происшествия и если в нем примут участие наряду с инженерно-техническими работниками также и врачи. Но организовать такое комплексное расследование с участием высококвалифицированных специалистов немедленно после несчастного случая зачастую не удается. Расследование же, проведенное позже, не дает возможности точно установить ряд существенных обстоятельств и деталей происшествия.

Все это предопределяет несовершенство учета электротравматизма. Особенно затрудняет учет, а следовательно, и анализ электротравматизма неполнота данных судебно-медицинских наблюдений. Между тем роль их в анализе случаев смерти людей от электричества весьма велика.

Многие авторы указывают, что даже простое установление месторасположения электрометок на теле погибших существенно помогает правильной диагностике причин летальных исходов при электротравмах. Еще больше может дать, конечно, вскрытие погибших.

**Обязательность вскрытия погибших.** Уже в 1910 г. на Международном конгрессе судебно-медицинских экспертов по предложению С. Еллинека было принято решение об обязательном вскрытии погибших от ударов молнии и электрического тока, но решение это осталось невыполненным. Спустя 25 лет, в 1935 г., С. Еллинек, анализируя электротравматизм, писал: «Несмотря на то, что мое предложение (о вскрытии погибших от молнии и электрического тока) было единогласно принято, случаи вскрытия погибших от электричества крайне редки».

Серьезных изменений в этом отношении не произошло в зарубежных странах и в последующие периоды. Как показали еще в довоенные годы Клышко в Чехословакии и Т. Геберт в Германии, даже в тех случаях, когда судебно-медицинские вскрытия при внезапных смертях от электричества производились, результаты получались весьма скромными, поскольку обстоятельства несчастных случаев оставались, как правило, неизученными. При этом авторы перечисляют те ошибки и неправильные заключения, которые допускались при таком неполном обследовании.

В СССР погибших от электрического тока подвергают обязательному вскрытию. Основная цель вскрытия — установление причины смерти. Там, где время с момента смерти до судебно-медицинского вскрытия не превышает 8—10 ч, целесообразно проведение гистологического анализа мозгового вещества, чтобы помочь общему заключению судебно-медицинской экспертизы. При этом выясняется, соответствуют ли результаты вскрытия обстоятельствам происшествия. Но и здесь возможны ошибки.

Диагностическое значение электрометок. Основным признаком поражения человека электрическим током являются - электрометки — следы тока на коже пострадавшего в местах ее контакта с частями электрооборудования или проводами, находившимися в момент происшествия под напряжением. В прошлом при отсутствии таких следов судебно-медицинский эксперт выносил заключение о причине смерти главным образом на основе обстоятельств дела, данных следствия и технической экспертизы. Электрометки на теле человека достаточно, подробно изучены. Установлено, что электрометки, возникшие в результате прижизненного соприкосновения человека с токоведущими частями, существенно отличаются от электрометок, возникших на теле, если подобное соприкосновение произошло

после смерти. Для случая прижизненного соприкосновения характерна краснота вокруг места касания. В случае точечного касания электрометка напоминает пчелиный укус с точкой в середине и некоторой отечностью. Иногда краснота, представляющая собой разновидность воспалительного процесса, появляется через 3—5 мин после травмы. На теле живого человека электрометка может возникнуть при очень малом токе, на трупе же след появляется лишь при плотности тока (0,5—1,0) А/см<sup>2</sup> даже при кратковременном воздействии тока.

Установлено, что в случае смертельного поражения переменным электрическим током промышленной частоты возникает отек артерии красной пульпы селезенки, наблюдаются полнокровие ее сосудов, очаговые кровоизлияния и атрофия лимфоидных фолликулов белой пульпы, а стенки артерий белой пульпы подвергаются явно выраженной специфической деструкции. Спектрофотометрия показывает, что при поражении переменным электрическим током концентрация калия в тканях селезенки повышается, а натрия — снижается. Спектрография определяет существенные изменения в соотношениях макро- и микроэлементов в тканях селезенки: содержание алюминия, железа, магния и фосфора увеличивается, а кремния — уменьшается. Это позволило установить, какие именно количественные соотношения калия и натрия, кальция и фосфора, железа и кальция, железа и алюминия, алюминия и кремния характеризуют смерть от электротравмы.

А это означает, что судебно-медицинский эксперт располагает теперь достаточно точным и объективным приборным методом диагностики, особенно важным при оценке бытовых электротравм и травм в промышленности при напряжении ниже (65—127) В, когда во многих случаях отсутствуют электрометки. Широкое использование этого метода открывает большие перспективы и для исследователя, интересующегося взаимодействием электрического тока с живым организмом.

Усовершенствование системы расследования смертей от электричества. Спектрофотографические и спектрофотометрические исследования, о которых говорилось выше, требуют довольно сложного и не всем доступного оборудования. По-видимому, целесообразно в каждом крупном промышленном городе создать централизованную экспресс-лабораторию, оснастить ее современным физическим, биохимическим и биофизическим экспериментальным оборудованием и сосредоточить в ней судебно-медицинскую экспертизу случаев острой смерти. Такие базовые лаборатории, несомненно, сыграют большую роль в изучении механизма сложных физических воздействий на человека, к каковым по праву следует отнести и поражение электрическим током.

Наличие таких лабораторий придаст выводам судебно-медицинской экспертизы большую значимость. В настоящее время, если судебно-медицинские вскрытия и выясняют причину смерти, то они, как правило, дают очень мало материала, необходимого для более подробного расследования несчастных случаев, в частности для определения значений параметров электрической цепи, вызвавших тяжелый исход. Изобилие в акте вскрытия обязательных сведений общего порядка подчас лишает инженера, который ведет расследование, возможности использовать данные вскрытия в целях более подробного выяснения значений параметров электрической цепи, приведших к смерти. Вследствие этого при расследовании допускаются ошибки в определении параметров токоведущих частей, соприкосновение с которыми вызвало образование смертельной для человека электрической цепи. И в этом плане необходимость усовершенствования системы и практики расследования смертельных поражений от электричества совершенно очевидна.

Электротравматизм в отдельных отраслях экономики

Много лет под руководством В. И. Филиппова и Г. Ю. Гордон анализируется электротравматизм на производстве. Распределение производственных электротравм по отраслям экономики показано в табл. 1.

Заметим, что пользоваться данными этой таблицы надо с осторожностью. Удельный вес каждой из отраслей в экономике страны не остается неизменным, и уже

это одно могло повлиять на приведенное в таблице распределение электротравм. Тем не менее, исходным материалом для размышления таблица, конечно, может служить.

Таблица 1 - Распределение (в процентах к итогу) производственных электротравм по отраслям экономики

Отрасль	Годы			
	1951—1952	1964—1966	1964—1966**	1985—1987
Сельское хозяйство	6,6	27,7	8,9	31,4
Электростанции, электротехническая и радиоэлектронная промышленность	8,9	15,6	30,5	8,3
Строительство и промышленность строительных материалов	10,9	11,7	7,4	16,4
Железнодорожный транспорт (без транспортного строительства)	7,9	5,1	12	4
Машиностроение и судостроение	6,1	4,7	18,8	1,2
Пищевая промышленность	*	4,5	—	4,4
Коммунально-бытовые предприятия	3,8	4,3	15	8,5
Металлургическая промышленность	8	4	8,2	2
Государственная торговля и потребительская кооперация	*	3,7	17,5	3,4
Нефтяная и химическая промышленность	7,8	3,6	13,8	3
Предприятия связи, автотранспорта и шоссейных дорог	3,5	3,5	8,6	3
Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность	2,1	2,9	3,7	3
Угольная промышленность	17,1	2,8	1,7	4,7
Текстильная и легкая промышленность	*	2	20,5	2,1
Геологоразведка	*	1	6,4	0,5
Морской и речной флот	2,4	0,8	—	0,6
Гражданская авиация	*	0,2	8,3	0,3
Прочие отрасли (государственные, культурно-просветительные, медицинские и научные учреждения, учебные заведения)	14,9	1,9	14,6	3,2
Итого:	100	100	12,2	100

\* Из-за отсутствия сопоставимых данных отнесены к «Прочим отраслям».

\*\* Цифры в этой графе показывают процент травм со смертельным исходом к общему числу травм в данной отрасли

## Тема 2. Первая помощь пострадавшим от электрического тока

Работники на рабочих местах должны быть ознакомлены с «Межотраслевой инструкцией по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве».

Нельзя приступать к оказанию помощи, не освободив пострадавшего от действия электрического тока.

При напряжении выше 1000 В следует:

- надеть диэлектрические перчатки, резиновые боты или галоши;
- взять изолирующую штангу или изолирующие клещи;
- замкнуть провода ВЛ (6-20) кВ накоротко методом наброса, согласно специальной инструкции;
- сбросить изолирующей штангой провод с пострадавшего;
- оттащить пострадавшего за одежду не менее чем на 8 метров от места касания проводом земли или от оборудования, находящегося под напряжением.

### Схема действий в случаях поражения электрическим током

А) Если нет сознания и нет пульса на сонной артерии:

1. Обесточить пострадавшего;
  2. Убедиться в отсутствии реакции зрачка на свет;
  3. Убедиться в отсутствии пульса на сонной артерии;
  4. Нанести удар кулаком по груди;
  5. Начать непрямой массаж сердца;
  6. Сделать вдох “искусственного дыхания”;
  7. Приподнять ноги;
  8. Приложить холод к груди;
  9. Продолжить реанимацию;
  10. Вызвать скорую помощь - 03.
- Б) Если нет сознания, но есть пульс на сонной артерии
1. Убедиться в наличии пульса;
  2. Повернуть на живот и очистить рот;
  3. Приложить холод к голове;
  4. На раны наложить повязки;
  5. Наложить шины (если необходимо);
  6. Вызвать скорую помощь - 03.

### **Тема 3. Механизм воздействия электрического тока на человека**

#### Виды поражений электрическим током

В общей массе травм на производстве с временной утратой трудоспособности вес электротравм незначителен - не более 2%. Однако среди травм с летальным исходом электротравмы занимают ведущее место - более 12 %, то есть каждая седьмая смертельная травма вызвана электрическим током.

Основные причины массовости смертельного электротравматизма можно сформулировать следующим образом:

- физиологическая несовместимость электрического тока и биологических процессов в организме;
- отсутствие внешних признаков опасности оголенных токоведущих частей или металлических конструкций, случайно оказавшихся под напряжением (отсутствуют дым, свечение и другие устрашающие признаки);
- непонимание большинством работающих конкретной опасности контакта с токоведущими частями.

Проходя через организм человека, электрический ток производит:

- термическое действие;
- электролитическое действие;
- механическое действие;
- биологическое действие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

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

Механическое (динамическое) действие тока выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждениях тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др., в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара от перегретой током тканевой жидкости и крови.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биологических процессов.

### Электрическое сопротивление тела человека

#### Виды электрических травм

Указанное многообразие действий электрического тока на организм приводит к различным электротравмам, которые можно свести к двум видам:

- местные электротравмы, когда возникает местное повреждение организма;
- общие электротравмы (электрические удары), когда поражается весь организм.

Примерное распределение несчастных случаев от электрического тока:

- 20% - местные;
- 25% - электрические удары;
- 55% - смешанные травмы.

Эти травмы часто сопутствуют друг другу, но они различны и должны рассматриваться отдельно.

#### *Местные электротравмы*

Местная электротравма – ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела. Чаще это поверхностные повреждения (кожа, иногда связок и костей).

Опасность местных травм зависит от места и степени повреждения тканей. Как правило, местные травмы излечиваются, работоспособность восстанавливается.

Характерные местные электротравмы – электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия. 75% случаев поражений электрическим током сопровождается местными электротравмами. Из них:

- электрические ожоги – 40%;
- электрические знаки – 7%;
- металлизация кожи – 3%;
- механические повреждения – 0,5%;
- электроофтальмия – 1,5%;
- смешанные травмы – 23%.

#### *Электрический ожог*

Электрический ожог это самая распространенная электротравма. В зависимости от условий возникновения различают два основных вида ожога:

- токовый (контактный), возникающий при прохождении тока непосредственно через тело человека в результате его контакта с токоведущей частью;
- дуговой, обусловленный воздействием на тело электрической дуги.

Токовый ожог возникает в электроустановках напряжением не выше 2 кВ. При более высоких напряжениях образуется электрическая дуга. Ожог тем опаснее, чем больше ток и время его прохождения. Сопротивление кожи больше чем сопротивление внутренних тканей, поэтому она и сгорает. (При токах высоких частот могут возникнуть ожоги внутренних тканей).

Дуговой ожог наблюдается в электроустановках различных напряжений. При этом в установках до 6 кВ ожоги являются следствием случайных КЗ. В установках более высоких напряжений дуга возникает при случайном приближении человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на расстояние при котором происходит пробой воздушного промежутка между ними; при повреждении изолирующих защитных средств.

#### *Электрические знаки*

Электрические знаки представляют собой резко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности тела человека, подвергшегося действию тока. Размер пятен 1-5 мм. Обычные электрические знаки безболезненны, лечатся легко.

#### *Металлизация кожи*

Металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частиц металла, расплавившегося под действием электрической дуги, возникающей при КЗ. Мельчайшие брызги расплавленного металла под влиянием возникших динамических сил и теплового потока разлетаются во все стороны с большой скоростью.

Поражение глаз наиболее опасно. Поэтому работы, при которых возможно возникновение электрической дуги должны выполняться в защитных очках, одежда должна быть застегнута, ворот закрыт, рукава опущены.

#### *Механические повреждения*

Чаще всего это следствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием электрического тока. В результате могут произойти разрывы сухожилий, кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани; могут быть вывих суставов и даже переломы костей.

Механические повреждения происходят при работе в основном в электроустановках до 1000 В при относительно длительном воздействии тока.

#### *Электроофтальмия*

Электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз – роговицы и конъюнктивы (слизистой оболочки, покрывающей глазное яблоко), возникающие в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей. Такое облучение возможно при наличии электрической дуги, которая является источником излучения ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

Предупреждение электроофтальмии обеспечивается применением защитных очков.

#### *Электрический удар*

Электрический удар – это возбуждение живых тканей организма протекающим через него током, проявляющееся в непроизвольных судорожных сокращениях различных мышц тела. При этом нарушается работа всех органов – сердца, легких, центральной нервной системы.

Электрический удар можно разделить на пять степеней:

- 1 - судорожное, едва ощутимое сокращение мышц;
- 2 - судорожное сокращение мышц, сопровождающееся сильными болями, без потери сознания;
- 3 - судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но сохранившимися дыханием и работой сердца;
- 4 - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (и то и другое);
- 5 - клиническая смерть.

Исход воздействия тока зависит от следующих факторов:

- значение и длительность протекания тока;
- род и частота тока;
- пути прохождения;
- индивидуальные свойства.

#### *Фибрилляция*

Фибрилляция – хаотические одновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл) при которых сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам. Фибрилляция сердца может наступить в результате прохождения через тело человека по пути рука-рука или рука-ноги переменного тока более 50 мА частотой 50 Гц в течение нескольких секунд. Токи меньше 50 мА и больше 5 А фибрилляции сердца у человека, как правило, не вызывают.

#### *Электрический шок*

Электрический шок это своеобразная тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на чрезмерное раздражение электрическим током, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и т. п.

*Факторы влияющие на степень опасного и вредного на человека электрического тока*

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека;
- условий внешней среды.

Характер воздействия на человека токов разного значения

**Ощутимый ток.** Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения называется ощутимым. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него малого тока: в среднем около 1,1 мА при переменном токе частотой 50 Гц и около 6 мА при постоянном токе. Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и пощипыванием, а при постоянном токе – ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части.

**Неотпускающий ток.** Электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки в которой зажат проводник называется неотпускающим. При постоянном токе неотпускающих токов нет, но в момент отрыва ощущается боль.

Ток, при котором человек может самостоятельно оторвать руки от электродов (когда можно выдержать боль) принят за порог неотпускающих токов и составляет примерно 50-80 мА.

**Фибрилляционный ток.** Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца, называется фибрилляционным, а наименьшее его значение – пороговым фибрилляционным током.

При частоте 50 Гц фибрилляционными являются токи в пределах от 50 мА до 5 А, а среднее значение порогового фибрилляционного тока – примерно 100 мА. При постоянном токе средним значением порогового фибрилляционного тока можно считать 300 мА, а верхним пределом – 5 А.

Критерии безопасности электрического тока

Критерии электробезопасности приведены в ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

Стандарт устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц.

Предельно допустимые значения (ПДУ) напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в табл.1.

Таблица 1 – ПДУ напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при

нормальном (неаварийном) режиме электроустановки

Род тока	$U$ , В	$I$ , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

В таблице 1 напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения. Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения при аварийном режиме производственных электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000 В, с глухим заземлением нейтрали не должны превышать значений, указанных в табл.2.

Таблица 2 – ПДУ напряжений прикосновения при аварийном режиме производственных электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000 В, с глухим заземлением нейтрали

Продолжительность воздействия $t$ , с	Предельно допустимое значение напряжения прикосновения $U$ , в
До 0,1	500
0,2	400
0,5	200
0,7	130
1,0	100
Св. 1,0 до 5,0	65

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в табл.3.

Таблица 3 – ПДУ напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока $t$ , с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	$U$ , В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	$I$ , мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	$U$ , В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	$I$ , мА												8
Постоянный	$U$ , В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	$I$ , мА												15
Выпрямленный двухполупериодный	$U_{ампл}$ , В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	-
	$I_{ампл}$ , мА												
Выпрямленный однополупериодный	$U_{ампл}$ , В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	-
	$I_{ампл}$ , мА												

**Примечание.** Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при продолжительности воздействия более 1 с, приведенные в табл.2, соответствуют отпускающим (переменным) и неболевым (постоянным) токам.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц не должны превышать значений, указанных в табл.4.

Таблица 4 – ПДУ напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Продолжительность воздействия $t$ , с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия $t$ , с	Нормируемая величина	
	$U$ , В	$I$ , мА		$U$ , В	$I$ , мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Св. 1,0	12	2

В таблице 4 значения напряжений прикосновения и токов установлены для людей с массой тела от 15 кг.

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

#### КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ТОКОВ

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

При измерении токов и напряжений прикосновения сопротивление тела человека в электрической цепи при частоте 50 Гц должно моделироваться резистором сопротивления:

- для табл.1 - 6,7 кОм;
- для табл.2 при времени воздействия до 0,5 с - 0,85 кОм;
- более 0,5 с - сопротивлением, имеющим зависимость от напряжения согласно рисунка 1;
- для табл.3 - 1 кОм;
- для табл.4 при времени воздействия до 1 с - 1 кОм;
- более 1 с - 6 кОм.

Отклонение от указанных значений допускается в пределах  $\pm 10\%$ .

При измерении напряжений прикосновения и токов сопротивление растеканию тока с ног человека должно моделироваться с помощью квадратной металлической пластины размером 25×25 см, которая располагается на поверхности земли (пола) в местах возможного нахождения человека. Нагрузка на металлическую пластину должна создаваться массой не менее 50 кг.

При измерении напряжений прикосновения и токов в электроустановках должны быть установлены режимы и условия, создающие наибольшие значения напряжений прикосновения и токов, воздействующих на организм человека.

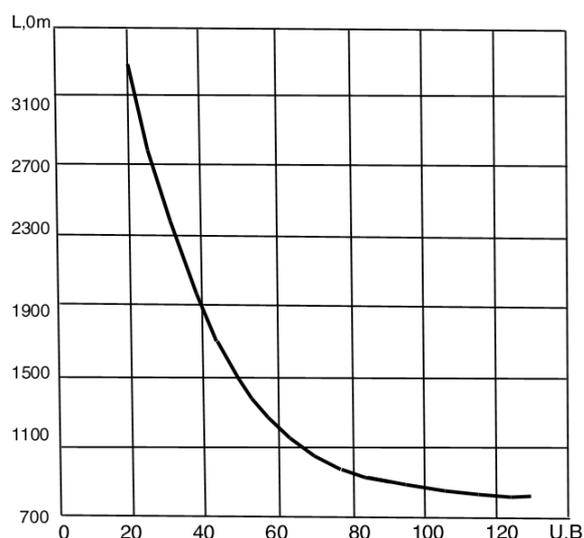


Рисунок 1 – Зависимость сопротивления тела человека от напряжения прикосновения

### ТЕРМИНЫ И ИХ ПОЯСНЕНИЯ

Термин	Пояснение
Напряжение прикосновения	По ГОСТ 12.1.009-76
Аварийный режим электроустановки	Работа неисправной электроустановки, при которой могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с электроустановкой
Бытовые электроустановки	Электроустановки, используемые в жилых, коммунальных и общественных зданиях всех типов, например, в кинотеатрах, кино, клубах, школах, детских садах, магазинах, больницах и т.п., с которыми могут взаимодействовать как взрослые, так и дети
Отпускающий ток	Электрический ток, не вызывающий при прохождении через тело человека непреодолимых судорожных сокращений мышц руки, в которой зажат проводник

#### Тема 4. Статическое электричество

В некоторых отраслях промышленного производства, связанных с обработкой диэлектрических материалов (нефтеперерабатывающей, текстильной, бумажной и др.), наблюдаются явления электризации тел — статическое электричество.

По определению ГОСТ 12.1.018-79 «ССБТ. Статическое электричество. Искробезопасность» термин «статическое электричество» означает совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических и полупроводниковых веществ, материалов, изделий или на изолированных (в том числе диспергированных в диэлектрической среде) проводниках.

Электризация материалов часто препятствует нормальному ходу технологических процессов производства, а также создает дополнительную пожарную опасность вследствие искрообразования при разрядах при наличии в помещениях, резервуарах и аппаратах горючих паро- и газозвоздушных смесей.

Этот же ГОСТ дает определение понятия электростатической искробезопасности (ЭСИБ) как состояние объекта, при котором исключается возможность взрыва и пожара от статического электричества. Электростатическая искробезопасность должна обеспечиваться путем устранения разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания огнеопасных веществ (материалов, смесей, изделия, продукции).

В ряде случаев статическая электризация тела человека и затем последующий разряд с человека на землю или заземленное производственное оборудование, а также электрический разряд с незаземленного оборудования через тело человека могут вызвать нежелательные боле-

вые и нервные ощущения и быть причиной произвольного резкого движения, в результате которого человек может получить травму (падение, ушибы и др.).

Согласно гипотезе о статической электризации тел при соприкосновении двух разнородных веществ из-за неуравновешенности атомных и молекулярных сил на их поверхности происходит перераспределение электронов (в жидкостях и газах также и ионов) с образованием двойного электрического слоя с противоположными знаками электрических зарядов. Таким образом, между соприкасающимися телами, особенно при взаимном их трении, возникает контактная разность потенциалов, значение которой 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 (при уменьшении электрической емкости системы) за счет совершаемой работы на разделение зарядов разность потенциалов возрастает и может достигнуть значений десятков и сотен киловольт.

При одинаковых значениях диэлектрической постоянной в соприкасающихся материалах электростатические заряды не возникают.

При статической электризации во время технологических процессов, сопровождающихся трением, размельчением твердых частиц, пересыпанием сыпучих материалов, переливанием диэлектрических жидкостей (нефтепродукты и др.), на изолированных от земли металлических частях оборудования возникает относительно земли напряжение порядка десяткой киловольт. Так, например, при движении резиновой ленты транспортера и в устройствах ременной передачи на ленте (ремне) и на роликах транспортера (на шкиве) из-за некоторой пробуксовки возникают электростатические заряды противоположных знаков и большого значения, а разность их потенциалов достигает 45 кВ. Аналогично происходит электризация при сматывании (наматывании) тканей, бумаги, полиэтиленовой пленки и др.

При относительной влажности воздуха 85 % и более зарядов статического электричества практически не возникает. В аэрозолях электрические заряды возникают от трения частиц вещества пыли друг о друга и о воздух во время их движения.

Применяемое в электроустановках минеральное масло в процессе его переливания (например, слив трансформаторного масла в бак) также подвергается электризации. В том случае, если металлическая емкость не заземлена, в процессе налива она окажется заряженной. Электрические заряды, образующиеся на частях производственного оборудования и изделиях, могут взаимно нейтрализоваться вследствие некоторой электропроводности влажного воздуха, а также стекать в землю по поверхности оборудования. Но в отдельных случаях, когда заряды велики и разность потенциалов также велика, то (при малой влажности воздуха) может произойти быстрый искровой разряд между наэлектризованными частями оборудования или на землю.

Энергия такой искры может оказаться достаточной для воспламенения горючей или взрывоопасной смеси. Например, для многих паро- и газоздушных взрывоопасных смесей требуется небольшая энергия ( $0,5 \cdot 10^{-3}$ ) Вт·с. Практически при напряжении 3 кВ искровой разряд вызывает воспламенение почти всех паро- и газоздушных смесей, а при 5 кВ — большей части горючих пылей и волокон.

### **Тема 5. Явления при стекании тока в землю**

При изучении этой темы необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Стеkanie тока в землю через одиночный заземлитель;
2. Стеkanie тока в землю через групповой заземлитель;
3. Напряжение прикосновения;
4. Напряжение шага;
5. Электрическое сопротивление земли.

Материал изложен в учебном пособии Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – С. 79 – 157.

## **Тема 6. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях**

При изучении этой темы необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Однофазные сети;
2. Трехфазные сети;
3. выбор схемы и режима нейтрали.

Материал изложен в учебном пособии Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – С. 157 – 182.

## **Тема 7. Защитное заземление**

1. Назначение, принцип действия и выполнение заземляющих устройств;
2. Расчет защитного заземления;
3. Эксплуатация заземляющих устройств.

Материал изложен в учебном пособии Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – С. 182 – 225.

## **Тема 8. Зануление**

При изучении этой темы необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Назначение и принцип действия зануления;
2. Назначение отдельных элементов схемы зануления;
3. Расчет зануления;
4. Контроль исправности зануления.

Материал изложен в учебном пособии Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – С. 225 – 248.

## **Тема 9. Защитное отключение**

При изучении этой темы необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Назначение защитного отключения;
2. Основные элементы устройств защитного отключения;
3. Основные требования к устройствам защитного отключения;
4. Область применения устройств защитного отключения;
5. Типы устройств защитного отключения.

Материал изложен в учебном пособии Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – С. 250 – 276.

## **Тема 10. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления**

При работе в электроустановках используются:

- средства защиты от поражения электрическим током (электрозащитные средства);
- средства защиты от электрических полей повышенной напряженности, коллективные и индивидуальные (в электроустановках напряжением 330 кВ и выше);
- 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).

К электрозащитным средствам 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.

Изолирующие электрозщитные средства делятся на основные и дополнительные.

К основным изолирующим электрозщитным средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;

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 электрозщитным 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 электрозщитным 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 электрозщитным 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.

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 (каска 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).

Выбор необходимых электрозакщитных средств, средств защиты от электрических полей повышенной напряженности и средств индивидуальной защиты регламентируется инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках, Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок, санитарными нормами и правилами выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты, руководящими указаниями по защите персонала от воздействия электрического поля и другими соответствующими нормативно-техническими документами с учетом местных условий.

При выборе конкретных видов СИЗ следует пользоваться соответствующими каталогами и рекомендациями по их применению.

При использовании основных изолирующих электрозакщитных средств достаточно применение одного дополнительного, за исключением особо оговоренных случаев.

При необходимости защитить работающего от напряжения шага диэлектрические боты или галоши могут использоваться без основных средств защиты.

#### ПОРЯДОК И ОБЩИЕ ПРАВИЛА ПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ ЗАЩИТЫ

Персонал, проводящий работы в электроустановках, должен быть обеспечен всеми необходимыми средствами защиты, обучен правилам применения и обязан пользоваться ими для обеспечения безопасности работ.

Средства защиты должны находиться в качестве инвентарных в помещениях электроустановок или входить в инвентарное имущество выездных бригад. Средства защиты могут также выдаваться для индивидуального пользования.

При работах следует использовать только средства защиты, имеющие маркировку с указанием завода-изготовителя, наименования или типа изделия и года выпуска, а также штамп об испытании.

Инвентарные средства защиты распределяются между объектами (электроустановками) и между выездными бригадами в соответствии с системой организации эксплуатации, местными условиями и нормами комплектования.

Такое распределение с указанием мест хранения средств защиты должно быть зафиксировано в перечнях, утвержденных техническим руководителем организации или работником, ответственным за электрохозяйство.

При обнаружении непригодности средств защиты они подлежат изъятию. Об изъятии непригодных средств защиты должна быть сделана запись в журнале учета и содержания средств защиты или в оперативной документации.

Работники, получившие средства защиты в индивидуальное пользование, отвечают за их правильную эксплуатацию и своевременный контроль за их состоянием.

Изолирующими электрозакщитными средствами следует пользоваться только по их прямому назначению в электроустановках напряжением не выше того, на которое они рассчитаны (наибольшее допустимое рабочее напряжение), в соответствии с руководствами по эксплуатации, инструкциями, паспортами и т.п. на конкретные средства защиты.

Изолирующие электрозакщитные средства рассчитаны на применение в закрытых электроустановках, а в открытых электроустановках - только в сухую погоду. В изморось и при садках пользоваться ими не допускается.

На открытом воздухе в сырую погоду могут применяться только средства защиты специальной конструкции, предназначенные для работы в таких условиях. Такие средства защиты изготавливаются, испытываются и используются в соответствии с техническими условиями и инструкциями.

Перед каждым применением средства защиты персонал обязан проверить его исправность, отсутствие внешних повреждений и загрязнений, а также проверить по штампу срок годности.

Не допускается пользоваться средствами защиты с истекшим сроком годности.

При использовании электроразличительных средств не допускается прикасаться к их рабочей части, а также к изолирующей части за ограничительным кольцом или упором.

#### ПОРЯДОК ХРАНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

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

Средства защиты необходимо хранить в закрытых помещениях.

Средства защиты из резины и полимерных материалов, находящиеся в эксплуатации, следует хранить в шкафах, на стеллажах, полках, отдельно от инструмента и других средств защиты. Они должны быть защищены от воздействия кислот, щелочей, масел, бензина и других разрушающих веществ, а также от прямого воздействия солнечных лучей и теплоизлучения нагревательных приборов (не ближе 1 м от них).

Средства защиты из резины и полимерных материалов, находящиеся в эксплуатации, нельзя хранить в навал в мешках, ящиках и т. п.

Средства защиты из резины и полимерных материалов, находящиеся в складском запасе, необходимо хранить в сухом помещении при температуре (0-30) °С.

Изолирующие штанги, клещи и указатели напряжения выше 1000 В следует хранить в условиях, исключающих их прогиб и соприкосновение со стенами,

Средства защиты органов дыхания необходимо хранить в сухих помещениях в специальных сумках.

Средства защиты, изолирующие устройства и приспособления для работ под напряжением следует содержать в сухом, проветриваемом помещении.

Экранирующие средства защиты должны храниться отдельно от электроразличительных.

Индивидуальные экранирующие комплекты хранят в специальных шкафах: спецодежду - на вешалках, а спецобувь, средства защиты головы, лица и рук - на полках. При хранении они должны быть защищены от воздействия влаги и агрессивных сред.

Средства защиты, находящиеся в пользовании выездных бригад или в индивидуальном пользовании персонала, необходимо хранить в ящиках, сумках или чехлах отдельно от прочего инструмента.

Средства защиты размещают в специально оборудованных местах, как правило, у входа в помещение, а также на щитах управления. В местах хранения должны иметься перечни средств защиты. Места хранения должны быть оборудованы крючками или кронштейнами для штанг, клещей изолирующих, переносных заземлений, плакатов безопасности, а так же шкафами, стеллажами и т.п. для прочих средств защиты.

#### УЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЬ ЗА ИХ СОСТОЯНИЕМ

Все находящиеся в эксплуатации электроразличительные средства и средства индивидуальной защиты должны быть пронумерованы, за исключением касок защитных, диэлектрических ковров, изолирующих подставок, плакатов безопасности, защитных ограждений, штанг для переноса и выравнивания потенциала. Допускается использование заводских номеров.

Нумерация устанавливается отдельно для каждого вида средств защиты с учетом принятой системы организации эксплуатации и местных условий.

Инвентарный номер наносят, как правило, непосредственно на средство защиты краской или выбивают на металлических деталях. Возможно также нанесение номера на прикрепленную к средству защиты специальную бирку.

Если средство защиты состоит из нескольких частей, общий для него номер необходимо ставить на каждой части.

В подразделениях предприятий и организаций необходимо вести журналы учета и содержания средств защиты.

Средства защиты, выданные в индивидуальное пользование, также должны быть зарегистрированы в журнале.

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 журнале.

Электрозащитные средства, кроме изолирующих подставок, диэлектрических ковров, переносных заземлений, защитных ограждений, плакатов и знаков безопасности, а также предохранительные монтерские пояса и страховочные канаты, полученные для эксплуатации от заводов-изготовителей или со складов, должны быть проверены по нормам эксплуатационных испытаний.

На выдержавшие испытания средства защиты, применение которых зависит от напряжения электроустановки, ставится штамп следующей формы:

№ \_\_\_\_\_  
Годно до \_\_\_\_\_ к В  
Дата следующего испытания " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.  
\_\_\_\_\_  
(наименование лаборатории)

На средства защиты, применение которых не зависит от напряжения электроустановки (диэлектрические перчатки, галоши, боты и т.п.), ставится штамп следующей формы:

№ \_\_\_\_\_  
Дата следующего испытания " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.  
\_\_\_\_\_  
(наименование лаборатории)

Штамп должен быть отчетливо виден. Он должен наноситься несмываемой краской или наклеиваться на изолирующей части около ограничительного кольца изолирующих электрозащитных средств и устройств для работы под напряжением или у края резиновых изделий и предохранительных приспособлений. Если средство защиты состоит из нескольких частей, штамп ставят только на одной части. Способ нанесения штампа и его размеры не должны ухудшать изоляционных характеристик средств защиты.

При испытаниях диэлектрических перчаток, бот и галош должна быть произведена маркировка по их защитным свойствам Эв и Эн, если заводская маркировка утрачена.

На средствах за щиты, не выдержавших испытания, штамп должен быть перечеркнут красной краской.

Изолированный инструмент, указатели напряжения до 1000 В, а также предохранительные пояса и страховочные канаты разрешается маркировать доступными средствами.

Результаты эксплуатационных испытаний средств защиты регистрируются в специальных журналах. На средства защиты, принадлежащие сторонним организациям, кроме того, должны оформляться протоколы испытаний.

#### ОБЩИЕ ПРАВИЛА ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

Приемо-сдаточные, периодические и типовые испытания проводятся на предприятии-изготовителе по нормам, и методикам, изложенным в соответствующих стандартах или технических условиях.

В эксплуатации средства защиты подвергаются эксплуатационным очередным и внеочередным испытаниям (после падения, ремонта, замены каких-либо деталей, при наличии признаков неисправности). Испытания проводятся по утвержденным методикам (инструкциям).

Механические испытания проводят перед электрическими.

Все испытания средств защиты должны проводиться специально обученными и аттестованными работниками.

Каждое средство защиты перед испытанием должно быть тщательно осмотрено с целью проверки наличия маркировки изготовителя, номера, комплектности, отсутствия механических повреждений, состояния изоляционных поверхностей (для изолирующих средств защиты). При несоответствии средства защиты требованиям настоящей Инструкции испытания не проводят до устранения выявленных недостатков.

Электрические испытания следует проводить переменным током промышленной частоты, как правило, при температуре плюс  $(25 \pm 15)^\circ \text{C}$ .

Электрические испытания изолирующих штанг, указателей напряжения, указателей напряжения для проверки совпадения фаз, изолирующих и электроизмерительных клещей следует начинать с проверки электрической прочности изоляции.

Скорость подъема напряжения до  $1/3$  испытательного может быть произвольной (напряжение, равное указанному, может быть приложено толчком), дальнейшее повышение напряжения должно быть плавным и быстрым, но позволяющим при напряжении более  $3/4$  испытательного считывать показания измерительного прибора. После достижения нормированного значения и выдержки при этом значении в течение нормированного времени напряжение должно быть плавно и быстро снижено до нуля или до значения не выше  $1/3$  испытательного напряжения, после чего напряжение отключается.

Испытательное напряжение прикладывается к изолирующей части средства защиты. При отсутствии соответствующего источника напряжения для испытания целиком изолирующих штанг, изолирующих частей указателей напряжения и указателей напряжения для проверки совпадения фаз и т.п. допускается испытание их по частям. При этом изолирующая часть делится на участки, к которым прикладывается часть нормированного полного испытательного напряжения, пропорциональная длине участка и увеличенная на 20%.

Основные изолирующие электрозащитные средства, предназначенные для электроустановок напряжением выше 1 до 35 кВ включительно, испытываются напряжением, равным 3-кратному линейному, но не ниже 40 кВ, а предназначенные для электроустановок напряжением 110 кВ и выше равным 3-кратному фазному.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства испытываются напряжением по нормам, указанным в Приложениях 5 и 7.

Длительность приложения полного испытательного напряжения, как правило, составляет 1 мин. для изолирующих средств защиты до 1000 В и для изоляции из эластичных материалов и фарфора и 5 мин. - для изоляции из слоистых диэлектриков.

Токи, протекающие через изоляцию изделий, нормируются для электрозащитных средств из резины и эластичных полимерных материалов и изолирующих устройств для работ под напряжением. Нормируются также рабочие токи, протекающие через указатели напряжения до 1000В.

Пробой, перекрытие и разряды по поверхности определяются по отключению испытательной установки в процессе испытаний, по показаниям измерительных приборов и визуально.

Электрозащитные средства из твердых материалов сразу после испытания следует проверить ощупыванием на отсутствие местных нагревов из-за диэлектрических потерь.

При возникновении пробоя, перекрытия или разрядов по поверхности, увеличении тока через изделие выше нормированного значения, наличии местных нагревов средство защиты бракуется.

## **Тема 11. Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты (ЭМП ПЧ) в установках сверхвысокого напряжения**

### **Биологическое действие ЭМП ПЧ**

Влияние поля на здоровье людей. В процессе эксплуатации электроэнергетических установок - открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных линий (ВЛ) электропередачи

напряжением выше 330 кВ было отмечено ухудшение состояния здоровья персонала, обслуживающего указанные установки. Субъективно это выражалось в ухудшении самочувствия работающих, которые жаловались на повышенную утомляемость, вялость, головные боли, плохой сон, боли в сердце и т. п.

Специальные наблюдения и исследования, проводимые в Советском Союзе и за рубежом, подтвердили обоснованность этих жалоб и установили, что фактором, влияющим на здоровье обслуживающего персонала, является электромагнитное поле, возникающее в пространстве вокруг токоведущих частей действующих электроустановок.

В электроустановках напряжением 330 кВ и меньше также возникают электромагнитные поля, но менее интенсивные и, как показал длительный опыт эксплуатации таких установок, не оказывающие отрицательного влияния на биологические объекты.

Интенсивное электромагнитное поле промышленной частоты вызывает у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и периферической крови. При этом наблюдаются повышенная утомляемость, снижением точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией и т. п.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле.

Электромагнитное поле можно рассматривать состоящим из двух полей: электрического и магнитного. Можно также считать, что в электроустановках электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, а магнитное — при прохождении тока по этим частям.

При малых частотах, в том числе при 50 Гц, электрическое и магнитное поля практически не связаны между собой, поэтому их допустимо рассматривать отдельно друг от друга и также раздельно рассматривать влияние, оказываемое ими на биологический объект.

Выполненные для действительных условий расчеты показали, что в любой точке электромагнитного поля, возникающего в электроустановках промышленной частоты, поглощенная телом человека энергия магнитного поля примерно в 50 раз меньше поглощенной им энергии электрического поля. Вместе с тем измерениями в реальных условиях было установлено, что напряженность магнитного поля в рабочих зонах ОРУ и ВЛ напряжением до 750 кВ включительно не превышает 20—25 А/м, в то время как вредное действие магнитного поля на биологический объект проявляется при напряженности 150—200 А/м.

На основании этого был сделан вывод, что отрицательное действие на организм человека электромагнитного поля в электроустановках промышленной частоты обусловлено электрическим полем; магнитное же поле оказывает незначительное биологическое действие и в практических условиях им можно пренебречь.

Электрическое поле электроустановок промышленной частоты можно рассматривать в каждый данный момент как электростатическое поле, т. е. применять к нему законы электростатики. Это поле создается по крайней мере между двумя электродами (телами), несущими заряды разных знаков и на которых начинаются и оканчиваются силовые линии.

Поле электроустановок является неравномерным, т. е. напряженность его изменяется вдоль силовых линий. Вместе с тем оно обычно несимметричное, поскольку возникает между электродами различной формы, например между токоведущей частью и землей или металлической заземленной конструкцией.

Поле воздушной линии электропередачи является, кроме того, плоскопараллельным, т. е. форма его одинакова в параллельных плоскостях, называемых плоскостями поля. В данном случае плоскости поля перпендикулярны оси линии.

Механизм биологического действия электрического поля на организм человека изучен недостаточно.

Предполагается, что нарушение регуляции физиологических функций организма обусловлено воздействием поля на различные отделы нервной системы. При этом повышение возбудимости центральной нервной системы происходит за счет рефлекторного действия поля, а тормозной эф-

фekt - прямого воздействия поля на структуры головного и спинного мозга. Считается, что кора головного мозга, а также промежуточный мозг особенно чувствительны к воздействию электрического поля.

Предполагается также, что основным материальным фактором, вызывающим указанные изменения в организме, является индуцируемый в теле ток и в значительно меньшей мере - само электрическое поле.

Наряду с биологическим действием электрическое поле обуславливает возникновение разрядов между человеком и металлическим предметом, имеющим иной, чем человек, потенциал.

Если человек стоит непосредственно на земле или на токопроводящем заземленном основании, то потенциал его тела практически равен нулю, а если он изолирован от земли, то тело оказывается под некоторым потенциалом, достигающим иногда нескольких киловольт.

Очевидно, что прикосновение человека, изолированного от земли, к заземленному металлическому предмету, равно как и прикосновение человека, имеющего контакт с землей, к металлическому предмету, изолированному от земли, сопровождается прохождением через человека в землю разрядного тока, который может вызывать болезненные ощущения, особенно в первый момент. Часто прикосновение сопровождается искровым разрядом.

В случае прикосновения к изолированному от земли металлическому предмету большой протяженности (трубопровод, проволочная ограда на деревянных стойках и т. п.) или большого размера (крыша деревянного здания и пр.) ток через человека может достигать значений, опасных для жизни.

#### Предельно допустимые уровни ЭМП ПЧ

Оценка ЭМП ПЧ (50 Гц) осуществляется отдельно по напряженности электрического поля (E) в кВ/м, напряженности магнитного поля (H) в А/м или индукции магнитного поля (B) в мкТл. Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле.

#### **Предельно допустимые уровни напряженности электрического поля 50 Гц**

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП Т (час) рассчитывается по формуле:

$$T = (50 / E) - 2, \text{ где}$$

E - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

T - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП ( $T_{пр}$ ) вычисляются по формуле:

$$T_{пр} = 8((tE1 / TE1 + tE2 / TE2 + \dots + tEn) / TE_n), \text{ где}$$

$T_{пр}$  - приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности;

$tE1, tE2, \dots tEn$  - время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью  $E1, E2, \dots En$ , ч;

TE1, TE2, ... Ten - допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон.

Приведенное время не должно превышать 8 ч.

Количество контролируемых зон определяется перепадом уровней напряженности ЭП на рабочем месте. Различие в уровнях напряженности ЭП контролируемых зон устанавливается 1 кВ/м.

Требования действительны при условии, что проведение работ не связано с подъемом на высоту, исключена возможность воздействия электрических разрядов на персонал, а также при условии защитного заземления всех изолированных от земли предметов, конструкций, частей оборудования, машин и механизмов, к которым возможно прикосновение работающих в зоне влияния ЭП.

*Предельно допустимые уровни напряженности периодического магнитного поля 50 Гц*

Предельно допустимые уровни напряженности периодических (синусоидальных) МП устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (таблица 1).

Таблица 1 - ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
<= 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Допустимая напряженность МП внутри временных интервалов определяется в соответствии с кривой интерполяции, приведенной в Приложении.

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью (индукцией) МП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

Допустимое время пребывания может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня.

Предельно допустимые уровни напряженности импульсного магнитного поля 50 Гц.

Для условий воздействия импульсных магнитных полей 50 Гц (таблица 2) предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности поля (Нпду) дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену (Т) и характеристики импульсных режимов генерации:

- режим I - импульсное с  $\tau_u \geq 0,02$  с,  $t_{п} \leq 2$  с;
  - режим II - импульсное с  $60$  с  $\geq \tau_u \geq 1$  с,  $t_{п} > 2$  с;
  - режим III - импульсное  $0,02$  с  $\leq \tau_u < 1$  с,  $t_{п} > 2$  с,
- где  $\tau_u$  - длительность импульса, сек,  
 $t_{п}$  - длительность паузы между импульсами, сек.

### Защита от ЭМП ПЧ

Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электрического поля токов промышленной частоты являются экранирующие устройства.

Они изготавливаются:

- стационарными;
- переносными.

Таблица 2 - ПДУ воздействия импульсных магнитных полей частотой 50 Гц в зависимости от режима генерации

Т, ч	Нпду [А/м]		
	Режим I	Режим II	Режим III
<= 1,0	6000	8000	10000
<= 1,5	5000	7500	9500
<= 2,0	4900	6900	8900
<= 2,5	4500	6500	8500
<= 3,0	4000	6000	8000
<= 3,5	3600	5600	7600
<= 4,0	3200	5200	7200
<= 4,5	2900	4900	6900
<= 5,0	2500	4500	6500
<= 5,5	2300	4300	6300
<= 6,0	2000	4000	6000
<= 6,5	1800	3800	5800
<= 7,0	1600	3600	5600
<= 7,5	1500	3500	5500
<= 8,0	1400	3400	5400

Стационарное экранирующее устройство - составная часть электрической установки, предназначенная для защиты персонала в открытых распределительных устройствах (ОРУ) и воздушных линиях электропередач (ВЛ). Экранирующее устройство необходимо при осмотре оборудования и при оперативном переключении наблюдения за производством работ.

Конструктивно экранирующие устройства оформляются в виде:

- козырьков;
- навесов;
- перегородок.

Стационарные экраны изготавливаются из металлических канатов, прутков, сеток.

При выборе диаметров канатов и прутков учитывается требование отсутствия в процессе работы экрана видимой короны; при этом, как правило, диаметр канатов и прутков не должен быть меньше 6 мм. Расстояние между канатами и прутками составляет 500 мм, а для экранирующих устройств системы сборных шин — 350—500 мм.

Переносные экраны также используются при работах по обслуживанию электроустановок в виде съемных:

- козырьков;
- навесов;
- перегородок;
- палаток;
- щитов.

В переносных и съемочных экранах используется сетка, имеющая ячейку не более 50x50 мм.

Экранирующие устройства имеют антикоррозийное покрытие и заземлены.

В зависимости от назначения экранирующие устройства имеют различную степень снижения электрического поля на рабочем месте; типы этих устройств приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Типы экранирующих устройств

Наряду со стационарными и переносными экранирующими устройствами применяют индивидуальные экранирующие комплекты. Они предназначены для защиты от воздействия элект-

трического поля, напряженность которого не превышает 60 кВ/м, создаваемого электроустановками напряжением 400, 500 и 750 В и частотой 50 Гц.

Тип экрана		Защита от ЭП, создаваемая	Зона экранирования	Условия применения	
обозначение	наименование			при напряженности ЭП более, кВ/м	на объектах
ЭМ	Экран межъячейковый	Электрооборудованием соседних ячеек Системой сборных шин	Рабочие места у выключателя и выключателя — отключателя То же в ОРУ с разъединителями опорной конструкции Рабочие места у приводов разъединителей типа РНДЗ-330, РНДЗ-500	5	Вновь проектируемых ОРУ
ЭШ	Экран шинный				
ЭР	Экран-навес у разъединителя				
ЭД	Экран-навес над пешеходными дорожками	Электрооборудованием и шинами ОРУ То же	Участки маршрута обхода  Рабочие места у шкафов управления оборудованием и шкафов вторичных цепей при их групповой установке	15	Действующих ОРУ, где установка экранов возможна с соблюдением «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ)
ЭГ	Экран-навес у шкафов групповой установки			5	

Тип экрана		Защита от ЭП, создаваемая	Зона экранирования	Условия применения	
обозначение	наименование			при напряженности ЭП более, кВ/м	на объектах
ЭК	Экран-козырек у шкафов	Электрооборудованием и шинами ОРУ	Рабочие места у приводов и отдельно стоящих шкафов различного назначения	5	Действующих ОРУ, где установка экранов возможна с соблюдением «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ)
ЭП	Экран переносной для работ без подъема на высоту	Электрооборудованием и шинами ОРУ, а также ВЛ	Рабочие места, находящиеся вне зоны действия экранов другого типа То же при обслуживании оборудования с применением гидроподъемников типа АГП-12, МШТС-2Т и телескопических вышек типа ТВ-26	5	Вновь проектируемых и действующих ВЛ и пересекаемых ими объектах (ВЛ более низкого напряжения, линиях связи, трубопроводах и коммуникациях); действующих ОРУ, где установка экранов другого типа невозможна с соблюдением ПУЭ; вновь проектируемых и действующих ОРУ, где настоящим стандартом установка экранов другого типа не предусмотрена
ЭС	Экран съемный для люлек подъемных механизмов				

Индивидуальные экранирующие комплекты разрешено использовать в тех случаях, когда отсутствует возможность прикосновения к токоведущим частям и температура воздуха не превышает 42 °С. Их запрещено использовать при работе на панелях, с электрическими приводами, в цепях напряжением до 1000 В, а также при профилактических испытаниях и электросварочных работах.

В состав экранирующих комплектов входят: спецодежда, спецобувь, средства защиты головы, а также рук и лица. Типы экранирующих комплектов, выпускаемых отечественной промышленностью, и их составляющие приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Типы индивидуальных экранирующих комплектов

Тип комплекта	Назначение	Составляющие элементы
ЭПР	Для ремонтного персонала ВЛ и подстанций (летний)	Куртка с капюшоном и полукombineзоном, каска с электропроводящим покрытием (накасник с электропроводящим волокном), кожаные ботинки на электропроводящей резине, электропроводящие перчатки и рукавицы, заземляющие проводники со струбцинами
ЭПХ	Для дежурного персонала подстанций (летний)	Халат с капюшоном из электропроводящей ткани (взамен куртки и полукombineзона ЭПР); остальное как для ЭПР
ЭПЗ	Для ремонтного персонала ВЛ (зимний)	Куртка с капюшоном и брюки с утепленной подкладкой; каска или накасник, галоши из электропроводящей резины, надеваемые на валенки; остальное как для ЭПР

Составные элементы комплектов снабжены контактными выводами, соединение которых позволяет обеспечить единую электрическую цепь, и через обувь или с помощью специального проводника со струбциной осуществить качественное заземление.

Экранирующие комплекты ЭПР и ЭПЗ выдаются для индивидуального пользования конкретными лицами. Комплекты ЭПХ разрешено использовать группе лиц; при этом специальная обувь выдается только для индивидуального использования.

Высокая эффективность защиты с помощью индивидуальных экранирующих комплектов достигается за счет выполнения ряда требований к порядку эксплуатации, хранению и ремонту элементов. Эти требования предназначены для обеспечения надежности соединения элементов комплекта и для их исправности. Например, чтобы исключить разрушение целостности электропроводящих материалов, хранение комплектов осуществляется в специальных шкафах в сухих отапливаемых помещениях (температура воздуха (2-30) °С, относительная влажность не более 80 %). Одежда хранится на вешалке, а обувь и каска - на полках. Запрещено переносить элементы комплекта за контактные выходы, а также использовать контакты для подвески.

Организуется ремонт элементов экранирующего комплекта, но при этом не допускается ремонтировать обувь (кроме косметического ремонта) и использовать для ре-ремонта электро-непроводящие материалы.

Периодически осуществляется проверка технического состояния экранирующих комплектов. Испытания производят перед началом эксплуатации, один раз в три месяца в процессе эксплуатации, после ремонта и в процессе хранения на складе (один раз в год). Поверочные испытания состоят из внешнего осмотра и измерения сопротивления постоянному току. При внешнем осмотре определяется наличие дефектов на элементах комплекта (обрывы соединительных выводов, истирание или отставание подошвы, разрывы и др.). Если дефекты существуют, то комплект не подлежит эксплуатации.

Измеренное сопротивление элементов комплекта при напряжении 500 В не должно превышать 10 кОм; в противном случае комплект не пригоден к эксплуатации. Результаты проверки регистрируются в специальном журнале.

## Тема 12. Защита от статического электричества

Устранение образования значительных зарядов статического электричества достигается при помощи следующих мер:

- 1) заземление металлических частей производственного оборудования;
- 2) увеличение поверхностной и объемной электрической проводимости диэлектриков;
- 3) предотвращение накопления значительных электрических зарядов путем установки в зоне электризации специальных нейтрализаторов.

Все проводящее оборудование и электропроводящие неметаллические предметы должны быть заземлены независимо от применения других мер защиты от статического электричества.

Неметаллическое оборудование считается заземленным, если сопротивление растеканию тока на землю с любых точек его внешней и внутренней поверхностей не превышает  $10^7$  Ом при относительной влажности воздуха не выше 60%. Такое сопротивление обеспечивает достаточно малое значение постоянной времени релаксации зарядов.

Заземляющие устройства для защиты от статического электричества, как правило, соединяются с защитными заземляющими устройствами электроустановок. Практически считают достаточным сопротивление заземляющего устройства для защиты от статического электричества около 100 Ом. К заземляющему устройству присоединяют отдельными ответвлениями от магистрали аппараты и машины, являющиеся источниками статической электризации (смесители, вальцы, каландры, дробилки, сливно-наливные устройства нефтепродуктов и др.). Автоцистерны во время слива или налива горючих жидкостей заземляют переносным заземлением в виде гибкого многопроволочного провода.

Эффективным способом подавления электризации нефтепродуктов является введение в основной продукт специальных антистатических присадок, например олеата хрома, олеата кобальта и др. Кроме того, с целью уменьшения статической электризации при сливе нефтепродуктов и других ГЖ необходимо избегать падения и разбрызгивания струи с высоты; сливной шланг (рукав) следует опускать до самого дна цистерны или другой какой-нибудь емкости. Металлические наконечники этих сливных шлангов во избежание проскакивания искр на землю или заземленные части оборудования необходимо заземлять гибким медным проводником.

Для повышения электропроводности резинотехнических изделий в их состав вводят такие антистатические вещества, как графит и сажа.

Для повышения электропроводности резинотехнических изделий в их состав вводят такие антистатические вещества, как графит и сажа.

Нейтрализация электрических зарядов может, осуществляться путем ионизации воздуха, разделяющего заряженные тела. На практике применяют ионизаторы индукционные, высоковольтные или радиоизотопные.

### **Тема 13. Защита электроустановок, зданий и сооружений, а также территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества**

На земном шаре в среднем за сутки происходит около 44 тыс. гроз, сопровождающихся мощными электрическими разрядами, называемыми молнией. В результате движения воздушных потоков, насыщенных водяными парами, образуются грозовые облака, являющиеся носителями статического электричества. Электрические разряды образуются между разноименно заряженными облаками или, чаще, между заряженным облаком и землей. При грозовом разряде в течение короткого промежутка времени (примерно 100 мкс) при токе молнии (100—200) кА в канале молнии развивается температура до  $30000$  °С. Вследствие быстрого расширения нагретого воздуха возникает взрывная волна (гром).

В разных районах число грозовых дней и число грозовых часов в течение года различно. Так, на юге Украины среднее годовое число грозовых часов превышает 100, в средней полосе — 60-80, а в районах Крайнего Севера и в пустынях Средней Азии — менее 10 ч.

Ток молнии производит тепловое, электромагнитное, а также механическое воздействия на те объекты, по которым он проходит. Помимо прямого удара молнии в здание, сооружение, дерево проявления молнии могут быть в виде электростатической и электромагнитной индукции.

Электростатическая индукция проявляется тем, что на изолированных металлических предметах наводятся опасные электрические потенциалы, вследствие чего возможно искрение между отдельными металлическими элементами конструкций и оборудования.

В результате электромагнитной индукции, обусловленной быстрым изменением значения тока молнии в металлических незамкнутых контурах, наводятся электродвижущие силы, что приводит к опасности искрообразования между ними в местах сближения этих контуров. При грозе во время ударов молнии в различные промышленные, транспортные и другие объекты, находящиеся вдали от производственных зданий и сооружений, возможно проникновение (занос) электрических потенциалов в здание по внешним металлическим сооружениям и коммуникациям — эстакадам, монорельсам и канатам подвесных дорог, по трубопроводам, оболочкам кабелей и др.

Для приема электрического разряда молнии и отвода ее тока с земли применяют устройства, называемые молниеотводами. Молниеотвод состоит из несущей части — опоры (которой может служить здание или сооружение), молниеприемника, токоотвода и заземлителя. Наиболее распространены стержневые и тросовые молниеотводы.

## **Тема 14. Нормативные правовые акты по электробезопасности**

### **Система стандартов безопасности труда**

Разработка Системы стандартов безопасности труда (ССБТ) была начата еще в СССР на основе тщательного анализа действующих правил, норм, инструкций и других документов по технике безопасности и производственной санитарии. К началу разработки ССБТ действовало свыше тысячи межотраслевых и отраслевых нормативных документов по технике безопасности и производственной санитарии. В процессе работы был сделан вывод о необходимости пересмотра существующей нормативной документации с целью ее обновления и устранения имеющих место дублирования и несогласованности требований безопасности труда в некоторых документах. В основу работы был положен системный подход, без которого невозможна единая направленность всего комплекса мероприятий по обеспечению безопасности труда.

В ССБТ входят стандарты, объекты стандартизации которых относятся к различным направлениям деятельности по обеспечению безопасности труда. Эти направления включают в себя мероприятия организационного характера, разработку норм, допустимых значений и требований по видам опасных и вредных производственных факторов, создание безопасного производственного оборудования, производственных процессов, надежных и эффективных средств защиты работающих.

В соответствии с указанными направлениями ССБТ состоит из пяти подсистем стандартов, каждая из которых обозначается шифром: 0, 1, 2, 3 и 4. В подсистему 0 входят организационно-методические стандарты, в подсистему 1 — только государственные стандарты требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов. Подсистема 2 объединяет стандарты требований безопасности к оборудованию. Подсистема 3 состоит из стандартов требований безопасности к производственным процессам. В подсистему 4 входят стандарты требований к средствам защиты работающих.

Иерархия стандартов ССБТ — трехступенчатая (рис. 1). На первой ступени расположены стандарты подсистемы 0, на второй ступени — стандарты подсистемы 1, а на третьей ступени — стандарты подсистем 2, 3, 4.



Рисунок 1 - Структурная схема стандартов по электробезопасности

Первые стандарты по электробезопасности (комплекс ГОСТ 12.2.007.0-75... 12.2.007.14-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности») были разработаны в 1975 г., а первый стандарт СЭВ по электробезопасности (СТ СЭВ789 - 77 «Машины ручные электрические. Общие требования безопасности») в 1977 г. По электробезопасности разработано уже более 30 стандартов ССБТ.

#### Краткая характеристика стандартов ССБТ на требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов

В основополагающем стандарте дана классификация опасных и вредных производственных факторов. Согласно этому стандарту опасные и вредные производственные факторы разделяются по природе действия.

В группу опасных и вредных производственных факторов входят: повышенные напряжения статического электричества, электромагнитных излучений, повышенная напряженность электрического и магнитного полей;

повышенные уровни шума на рабочем месте, вибрации, инфразвуковые колебания; повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне, влажность воздуха, подвижность воздуха, ионизация воздуха;

отсутствие или недостаток естественного света;

повышенный уровень ультрафиолетовой радиации и т. д.

В понятие «Электробезопасность» входит предупреждение опасного и вредного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Требования и нормы на указанные виды факторов регламентированы следующими стандартами:

«Электрические поля токов промышленной частоты напряжением 400 кВ и выше. Общие требования безопасности»;

«Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности»;

«Электробезопасность. Общие требования»;

«Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов»;

«Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

В государственном стандарте «Электробезопасность. Общие требования» приводятся перечни средств защиты от опасного действия электрического тока и электрической дуги, а также перечни технических и организационных мероприятий по обеспечению электробезопасности при проведении работ в электроустановках.

Важное место в стандарте занимает классификация признаков, от которых зависит уровень электробезопасности. Одни признаки характеризуют электроустановку (номинальное напряжение, род и частота тока, способ электропитания установки, мобильность и др.), другие признаки характеризуют внешнюю среду (категория помещения в отношении степени электроопасности, климатические факторы). К числу признаков, определяющих уровень электробезопасности, отно-

ся также условия работы (возможность отключить напряжение, попасть в зону растекания тока и др.).

Для правильного понимания государственного стандарта «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов» необходимо знать, что степень опасности электрического тока зависит от многих факторов: рода, частоты и силы тока туги через тело человека (петля тока), продолжительности действия тока на человека, медико-биологических особенностей индивидуума, условий внешней среды. Нормы устанавливаются не по одной реакции организма, а по нескольким: ощущению, неотпусканию и фибрилляции сердца (определение понятий «ощутимый ток», «неотпускающий ток» и «фибрилляционный ток» см. в государственном стандарте).

Разработаны предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений прикосновения и токов, протекающих через человека по наиболее опасным петлям «рука — рука» и «рука — ноги», при взаимодействии человека с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц. ПДУ дифференцированы также по номинальному напряжению установок (напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ), режиму нейтрали источника питания (изолированная, заземленная), состоянию электроустановок (нормальное, аварийное), времени действия тока на организм человека (от 0,08 с до 10 мин) и реакции организма.

Теоретически под электробезопасностью понимают отсутствие опасности, условия, при которых опасность человеку не угрожает. Реальное понятие электробезопасности весьма относительно. Оценивать уровень электробезопасности можно, используя теории вероятности и математической статистики.

#### Стандарты ССБТ на требования безопасности к электротехническому оборудованию

Требования к безопасности оборудования — первоисточнику образования ряда опасных и вредных производственных факторов — изложены в стандартах ССБТ подсистемы 2. В основном стандарте этой подсистемы изложены общие требования безопасности, особенности построения стандартов требований безопасности на конкретные группы оборудования.

Государственный стандарт также определяет требования безопасности к основным элементам конструкции, органам управления оборудованием, к средствам защиты, входящим в его состав. Например, требования по предупреждению или ограничению до регламентированных уровней возможного воздействия опасных и вредных производственных факторов, по устранению причин, способствующих возникновению этих факторов, к устройству и расположению органов управления и др.

Все движущиеся части оборудования, если они являются источником опасности, должны быть ограждены. Если исполнительные органы машины представляют опасность для людей, но не могут быть ограждены, то должны быть предусмотрены сигнализация, предупреждающая о пуске машины в работу, средства автоматической остановки машины, торможения и отключения ее от источников энергии.

До начала рабочего процесса средства защиты должны приводиться в готовность или быть заблокированы так, чтобы осуществление процесса было невозможным при их отключении или неисправности. Средства защиты должны непрерывно выполнять свои функции или срабатывать при возникновении опасности и приближении человека к опасной зоне. Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем устранено действие опасного (или вредного) производственного фактора. Отказ отдельных элементов средств защиты не должен прекращать защитного действия других средств или создавать дополнительную опасность. Средства защиты должны быть доступны для обслуживания и контроля, а в необходимых случаях обеспечены устройствами автоматического контроля их действия.

Съемные, откидные и раздвижные ограждения рабочих органов, а также дверцы, крышки, щитки в этих ограждениях или в корпусе оборудования должны иметь устройства, исключающие их случайное снятие и открытие, или иметь блокировки, обеспечивающие прекращение действия оборудования.

Электротехнические изделия могут быть источниками механических травм, термических ожогов, потери слуха, электротравм, электроожогов. Поэтому в стандарте приводится перечень опасных и вредных факторов, которые могут возникать при эксплуатации электротехнических изделий: электроопасные факторы, а также движущиеся части, нагревающиеся до температуры выше 45 °С, опасные и вредные материалы, используемые в конструкции изделия, шум, ультразвук, вибрация, тепловое, оптическое и рентгеновское излучения.

В конструкции электротехнических изделий могут быть предусмотрены все существующие средства коллективной защиты от поражения электрическим током, кроме временных ограждений и переносных заземлений, но степень реализации этих средств на стадии изготовления неодинаковая. Стандарты ССБТ на электротехнические изделия указывают только те требования к средствам защиты, которые могут быть выполнены при изготовлении изделий. Например, оболочки, как правило, являются неотъемлемой конструктивной частью изделия (кроме изделий, входящих в состав других изделий), поэтому требования к оболочкам приводятся в рассматриваемом стандарте полностью.

Примером средства защиты, которое не полностью реализуется на стадии изготовления изделия, является устройство защитного заземления: заземлители и заземляющая проводка, как правило, не входят в комплект поставки оборудования, поэтому требования к ним не приводятся. Не указываются в нем и требования к средствам, имеющим локальное применение, например, требования к ограничителям напряжения холостого хода сварочных трансформаторов; эти требования содержатся в стандарте на сварочное оборудование.

Наличие в государственном стандарте требований к изоляции, оболочкам, заземлению, блокировкам и другим средствам защиты не исключает необходимости разработки специальных стандартов на средства защиты.

Стандарт предписывает разработчикам добиваться безопасности оборудования в процессе выбора соответствующих схем и элементов, применения средств автоматизации, а не только благодаря средствам защиты. Это предписание нашло отражение в требованиях не допускать самопроизвольного включения и отключения изделия, обеспечивать удобство и безопасность наблюдения за изделием в процессе его сборки, осмотра, обслуживания и т.д.

По такому же принципу составлены остальные 14 стандартов, входящих в данный комплекс.

На изделия, выполненные в виде комплексов, требования государственного стандарта не распространяется, например РУ, испытательные установки и т.п. Требования безопасности к таким установкам содержатся в ПУЭ, а также в технической документации на конкретные установки. Не распространяется данный стандарт также на изделия, входящие в состав взрывозащищенного электрооборудования и транспортных средств (кроме наземного и воздушного транспорта). Другие изделия должны этому стандарту удовлетворять.

При формировании признаков отказа изделия в целом следует учитывать и факт преждевременной утраты изделием свойств безопасности, как это отражено в стандарте «Надежность в технике. Термины и определения» в отношении понятия предельного состояния, которое учитывает факт неустранимого нарушения требований безопасности. Таким образом, прослеживается связь показателей безопасности с такими показателями надежности, как безотказность и ресурс.

Имеется также связь между показателями безопасности и ремонтпригодности. Например, среднее время восстановления изделия зависит не только от его конструктивных особенностей, доступа к любому отказавшему элементу, но и от удобства и безопасности проведения ремонтно-восстановительных работ.

Связь показателей надежности и безопасности проявляется в том, что чем выше надежность изделия, тем реже приходится его ремонтировать. При этом если ремонт сопряжен с опасностью для персонала, то тем реже ему придется рисковать жизнью. И наоборот: чем ниже надежность изделия, тем выше должны быть требования к его ремонтпригодности и, следовательно, к безопасности обслуживания.

## Стандарты ССБТ на требования электробезопасности к производственным процессам

Требования безопасности к производственным процессам изложены в стандартах подсистемы 3. основополагающий стандарт этой подсистемы устанавливает общие требования безопасности для производственных процессов всех отраслей промышленности и особенности построения стандартов ССБТ на требования безопасности к группам производственных процессов. На его основе создается комплекс государственных и отраслевых стандартов на требования безопасности к конкретным производственным (технологическим) процессам.

Организация и проведение технологического процесса предусматривают комплексную механизацию, автоматизацию, применение дистанционного управления процессами и операциями, рациональную организацию труда и отдыха, систему управления и контроля, обеспечивающие защиту работающих и аварийное отключение оборудования. Это имеет прямое отношение и к повышению уровня электробезопасности на производстве.

В стандартах на производственные процессы, так же как в стандартах на производственное оборудование, предусматривается защита от всех опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении данного процесса, а не только защита от электроопасных факторов.

Стандарты по электробезопасности на производственные процессы, так же, как и сами процессы (работы), целесообразно подразделять на следующие группы:

- электротехнические;
- электротехнологические (процессы, в которых электроэнергия непосредственно, без преобразования в другие виды энергии, воздействует на предмет труда, например, электросварка, электролиз и т.п.);
- неэлектротехнические работы на электрифицированных машинах;
- работы без применения электроустановок и электрифицированных машин.

Стандарт ССБТ на электротехнические процессы «ССБТ. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности» распространяется на испытания всех изделий — электротехнических, электронных и неэлектротехнических, а также на испытания действующих электроустановок. Приведенная в стандарте классификация испытаний в зависимости от стадии существования объекта испытаний (изготовление, монтаж, эксплуатация, ремонт), его размещения (на испытательном стенде, вне стенда), а также от необходимости осуществлять электрический контакт между средством и объектом испытаний охватывает все особенности испытаний по безопасности. Эта классификация использовалась при разработке общих требований, вошедших в данный стандарт, ею же нужно руководствоваться для определения требований к конкретным испытаниям. Испытания, осуществляемые в процессе монтажа или ремонта изделий, по мерам безопасности приравниваются к испытаниям при изготовлении изделий, если во время испытания они не являются частями действующих электроустановок.

Содержащийся в государственном стандарте перечень нормативной документации, устанавливающей ПДУ опасных и вредных факторов, является ценным справочным материалом для инспекторов по охране труда.

В стандарте «ССБТ. Работы электросварочные. Общие требования безопасности» наряду с санитарно-гигиеническими требованиями, которые для сварочных работ имеют первостепенное значение, приведены необходимые требования электробезопасности: максимальное напряжение сети, к которой могут подключаться сварочные установки; условия подключения нескольких источников сварочного тока при работе на одну сварочную дугу; необходимость отключать сварочные установки от сети на время их перемещения, способы обеспечения безопасности сварщика при смене электродов и др.

Стандарт «ССБТ. Строительство. Электробезопасность. Общие требования» отражает вопросы электробезопасности. Стандарт «ССБТ. Деревообработка. Общие требования безопасности» в числе опасных и вредных факторов, которые могут встретиться при деревообработке, указывает электрическое напряжение, статическое электричество и электромагнитное излучение.

Примером стандарта на производственные процессы, которые могут выполняться без применения электрифицированных машин, является стандарт «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности».

### Стандарты ССБТ на требования к средствам электрозащиты

К средствам индивидуальной и коллективной защиты требования устанавливаются стандартами подсистемы 4 ССБТ, составляющими основную часть всех государственных стандартов ССБТ (их насчитывается свыше 100).

В стандартах на средства защиты излагаются требования к самим средствам (в том числе требования безопасности средств), методы контроля и правила их эксплуатации. Стандарты на классы и виды средств защиты включают в себя также классификацию средств данного класса. Требования к средствам коллективной защиты, входящим в конструкцию изделий (изоляционные покрытия, оболочки, постоянные ограждения, заземляющие ножи, запирающие устройства) содержатся в стандартах на соответствующие изделия, а также в ПУЭ; для оболочек электрооборудования и аппаратов напряжением до 1 кВ имеются соответствующие государственные стандарты.

К средствам коллективной защиты отдельные требования содержатся и в стандартах подсистемы 2 ССБТ. Во всех стандартах этой подсистемы приводятся требования к изоляции и заземлению, а в стандарте на ручные электрические машины — и к двойной изоляции. В некоторых стандартах содержатся требования к различительной окраске, лестнице для подъема на трансформатор, блокировкам, ограничителю напряжения холостого хода сварочного трансформатора и т.д. Требования к временным ограждениям и световой сигнализации содержатся также в стандарте на электрические испытания и измерения.

Устройства защитного отключения (УЗО) относятся к числу наиболее перспективных средств защиты. Под УЗО подразумевают устройства, предназначенные для автоматического отключения электроустановки при однофазном (однополюсном) прикосновении человека к частям (токоведущим и нетокковедущим), находящимся под недопустимым для него напряжением и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки, превышающего заданное значение. В стандарте разъясняется, что под током утечки в сети с изолированной нейтралью и сети постоянного тока подразумевают ток, протекающий между находящейся под напряжением фазой (полюсом) и землей в результате снижения сопротивления изоляции, а в сети с заземленной нейтралью — ток, протекающий по участку сети параллельно току в нулевом проводе, при отсутствии нулевого провода — ток нулевой последовательности. Для данного стандарта, как и для других стандартов общих требований безопасности, главное — это классификация стандартизируемых объектов. Она насчитывает 9 основных признаков и 8 дополнительных. В каждом признаке от 2 до 7 позиций. Устройства защитного отключения объединяются в группы:

- по характеристикам электроустановок, для которых они предназначены;
- по виду входного сигнала — ток и напряжение нулевой последовательности, фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности, ток утечки, напряжение корпуса относительно земли, оперативный ток;
- в зависимости от возможности регулировать установку срабатывания;
- по способу контроля исправности с самоконтролем или с ручным контролем;
- в зависимости от особенностей монтажа — автономные или встраиваемые в другие устройства;
- в зависимости от необходимости использовать наряду с УЗО другие средства защиты, например, защитное заземление, устройства компенсации тока замыкания на землю и др., с указанными средствами или без них;
- по избирательной способности — селективные и неселективные, а также в зависимости от условий внешней среды и способа подключения УЗО к электроустановке.

Внедрение стандартов является важнейшей, завершающей стадией работ по государственной стандартизации. Стандарт считают внедренным, если выполняются все его требова-

ния, и напротив — стандарт не внедрен, если хотя бы одно из содержащихся в нем требований не соблюдается. Внедрить стандарт — это значит разработать или пересмотреть техническую документацию на изделие (технологический процесс), обеспечить предприятие новым сырьем, материалами, оборудованием, внести коррективы в другие стандарты, если они связаны с внедряемым, и, наконец, обеспечить все заинтересованные службы текстом стандарта.

### **Тема 15. Организация безопасной эксплуатации электроустановок**

Организацию безопасной эксплуатации электроустановок см. ПОТ Р М-016-2001 (РД 153-34.0-03.150-00) “Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок”

### **7. Методические указания по выполнению домашних заданий, контрольных работ (самостоятельная работа студентов)**

Для подготовки к лабораторным работам студентам выдаются в электронном виде нормативные документы и методические указания к лабораторным работам. При этом студент должен при самостоятельной подготовке к лабораторным работам ознакомиться с методикой проведения лабораторной работы, средствами измерения.

Методические рекомендации по самостоятельной работе студента по практическим занятиям приведены в п. 5 данного УМКД.

### **8. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников.**

Студенты в специализированной аудитории по подготовке курсовых и дипломных работ имеют доступ к информационным программам Гарант, Кодекс, Консультант.

### **9. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов изложены в рабочей программе дисциплины и материалах данного УМКД.**

### **10. Комплекты заданий для лабораторных работ, контрольных работ, домашних заданий изложены в материалах данного УМКД.**

### **11. Фонд контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине “Электробезопасность” (примерные тестовые задания)**

1. При какой степени от исхода электрическим ударом наступает потеря сознания и нарушение сердечной и дыхательной деятельности?
  - a) I
  - b) II
  - c) III
  - d) IV
2. Главным фактором, определяющим электрическое сопротивление тела человека в целом, является...
  - a) Кожа
  - b) Жировая ткань
  - c) Мышечная ткань
  - d) Кровь
3. Электрический ток, вызывающий при прохождении через тело человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называется...
  - a) Фибрилляционный
  - b) Неотпускающий
  - c) Ощутимый
  - d) Безопасный
4. Основным проводником тока в грунте является его...
  - a) Твердая часть
  - b) Жидкая часть
  - c) Газообразная часть

- d) Все части
5. Раскаленные частицы металла могут вызвать ... действие электрического тока на человека.
- a) Биологическое  
b) Электролитическое  
c) Механическое  
d) Термическое
6. Резко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета (имеют обычно круглую или овальную форму до 5 мм) называются...
- a) Электрические знаки  
b) Электрические ожоги  
c) Металлизация кожи  
d) Механические повреждения
7. Безопасным током (постоянным) при частоте 50 Гц считается ток, равный...
- a) 50 – 75 мкА  
b) 100 – 125 мкА  
c) 1 00 мА – 5 А  
d) 300 мА – 5А
8. В определение сопротивления растеканию тока электрода не включается...
- a) Сопротивление изоляции фаз  
b) Сопротивление самого заземлителя  
c) Переходное сопротивление между заземлителем и грунтом  
d) Сопротивление грунта
9. В качестве естественных заземлителей не могут быть использованы...
- a) Свинцовые оболочки капелей, проложенные в земле  
b) Водопроводные и другие металлические трубы, проложенные в земле  
c) Обсадные трубы артезианских скважин  
d) Трубопроводы горючих жидкостей и газов
10. Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям не применяется изоляция
- a) Рабочая  
b) Дополнительная  
c) Усиленная  
d) Простая
11. Область применения зануления
- a) Трехфазные трехпроводные сети до 1000 В с заземленной нейтралью  
b) Трехфазные четырехпроводные сети до 1000 В с заземленной нейтралью  
c) Сети свыше 1000 В  
d) Трехфазные трехпроводные сети до 1000 В с изолированной нейтралью
12. Что относится к механическому действию:
- a) разрыв волокон мышц;  
б) разложение органической жидкости;  
в) раздражение и возбуждение живых тканей организма;  
г) изменение цвета кожи.
13. Наиболее опасным путем протекания тока можно считать:
- a) рука – нога;  
б) рука - рука;  
в) рука – земля;  
г) везде одинаковый результат.
14. При повреждении рогового слоя кожи, сопротивление тела человека:
- a) увеличивается;  
б) не изменяется;  
в) нет верного ответа;  
г) уменьшается.
15. Наличие токопроводящих полов, пыли является признаком:
- a) помещения с повышенной опасностью;  
б) особо опасного помещения;  
в) помещения без повышенной опасности;  
г) нет верного ответа.

16. Стеkanie тока в землю происходит только через:
- а) проводник, находящийся в непосредственном контакте с землей;
  - б) проводник, находящийся на поверхности землей;
  - в) проводник, не контактируемый с землей;
  - г) нет верного ответа.
17. Какой факт используется для защиты от электрического тока:
- а) увеличение потенциала;
  - б) уменьшение тока замыкания;
  - в) уменьшение потенциала;
  - г) нет верного ответа.
18. Бесконечно большим расстоянием между электродами можно считать:
- а) более 50 метров;
  - б) более 40 метров;
  - в) от 100 метров и больше;
  - г) нет верного ответа.
19. Чем характеризуются электрические свойства грунта:
- а) объемным удельным сопротивлением;
  - б) температурой грунта;
  - в) степенью уплотнения грунта;
  - г) ничем не характеризуются.
20. В каком случае значение напряжения шага будет минимальным:
- а) при наименьшем расстоянии от заземлителя;
  - б) при малой ширине шага;
  - в) оно не будет минимальным;
  - г) при бесконечно большом удалении от заземлителя.
21. Защитное заземление – это ...
- а) преднамеренное электрическое соединение с землей;
  - б) преднамеренное электрическое соединение с нулевым проводом;
  - в) непреднамеренное соединение нетоковедущих частей;
  - г) нет верного ответа.
22. Для измерения сопротивления заземлителя используется:
- а) метод амперметра – вольтметра;
  - б) метод пробного электрода;
  - в) метод послойного зондирования;
  - г) нет верного ответа.

**12. Вопросы к зачету по дисциплине “Электробезопасность”** приведены в рабочей программе дисциплины.

**13. Карта обеспеченности дисциплины “Электробезопасность” кадрами профессорско-преподавательского состава.**

1. Лекции по дисциплине “Электробезопасность” читает доцент, кандидат технических наук Булгаков Андрей Борисович.
2. Лабораторные занятия по дисциплине “Безопасность труда” проводит старший преподаватель, кандидат ф-м. наук Аверьянов Владимир Николаевич.
3. Практические занятия по дисциплине “Безопасность труда” проводит старший преподаватель, кандидат ф-м. наук Аверьянов Владимир Николаевич.

Андрей Борисович Булгаков,  
доцент кафедры БЖД АмГУ, канд. техн. наук  
Владимир Николаевич Аверьянов,  
старший преподаватель, канд. ф-м. наук

Изд-во АмГУ. Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_. Усл. печ. л.  
\_\_\_\_\_, уч. изд. л. \_\_\_\_\_. Тираж 100. Заказ \_\_\_\_\_.  
Отпечатано в типографии АмГУ.