

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЁВА»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
(СГАУ)

**ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

Самара 2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
(СГАУ)

**«ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В»**

*Рекомендовано редакционной комиссией
по двигателям летательных аппаратов и энергомашиностроению
в качестве методических указаний*

Самара 2015

УДК 621316.933.8

Составитель: Ю.А. Копытин

Рецензент: д.т.н., профессор Д.Л. Скуратов

Оценка опасности поражения током в электрических сетях напряжением до 1000 В : Метод указания к лаб. раб. / сост. *Ю.А. Копытин*. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2015. – 36 с. 8 ил.

Рассматриваются теоретические, нормативные и практические аспекты, влияющие на исход поражения человека электрическим током в различных схемах подключения его к электрическим сетям.

Рекомендуются для использования в курсах безопасности жизнедеятельности на всех факультетах СГАУ, а также слушателям ФПК. Методические указания могут быть использованы при работе над дипломным проектом.

Разработаны на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности СГАУ.

Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2015

Цель работы: научиться проводить измерения электрического напряжения прикосновения и электрического тока, проходящего через тело человека на стендовой модели и осуществлять оценку опасности прямого прикосновения человека к проводникам в электрических сетях переменного тока напряжением до 1000 В при различных условиях его подсоединения к проводникам.

Задачи:

1. Изучить основные понятия электробезопасности: электрический ток, электрическая сеть, физические единицы измерения в электрической сети, электрическое сопротивление тела человека.
2. Ознакомиться с возможными вариантами включений человека в однофазную электрическую сеть.
3. Изучить влияние прохождения электрического тока через тело человека и основные принципы нормирования безопасных величин электрического тока, проходящего через тело человека.
4. Изучить влияние различных факторов окружающей среды на электробезопасность.
5. Ознакомиться с устройством и принципом работы стенда.
6. Провести исследования, касающиеся определения величины электрического тока, проходящего через тело человека при различных условиях его подсоединения к проводникам и дать заключение о реакции человека.
7. Подготовить отчёт по результатам выполненной работы, сделав соответствующие выводы и рекомендации.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Жизнь современного человека немыслима без работы выполняемой с использованием электрической энергии. Работа выполняется за счет протекания электрического тока в электрической цепи. Простейшая электрическая цепь состоит из источника тока, потребителя и соединяющих их проводников электрического тока. Источник тока создаёт разность электрического потенциала на своих зажимах. При соединении зажимов источника тока с зажимами потребителя проводниками через замкнутую цепь пойдёт электрический ток от зажима источника тока с большим потенциалом к зажиму с меньшим проходя при этом через потребителя (чаще называется «нагрузкой») выполняя при этом определенную работу. Связь между разностью потенциалов на зажимах источника тока (напряжением) и силой тока в цепи установил немецкий физик Георг Ом

$$I = \frac{U}{R}$$

где U – напряжение на зажимах генератора, В;

I – ток в цепи, А;

R – сопротивление цепи, Ом.

В зависимости от источника тока разность потенциалов на его зажимах (напряжение) может быть постоянной и переменной. При неизменных характеристиках электрической цепи ток в цепи источника постоянного тока не меняет своей величины и направления. Ток от переменного источника периодически изменяет свое направление и величину.

К наиболее распространенным источникам постоянного тока относятся автомобильные аккумуляторы напряжением 12 и 24 В и источники тока для ряда бытовых приборов (радиоприёмники, часы, фонари и т.п.) напряжением от 1,5 до 18 В.

Наибольшее распространение в силовых электрических сетях получил синусоидальный переменный ток частотой 50 Гц вырабатываемый генераторами. Преимуществом синусоидального переменного тока является возможность простого получения с использованием трансформатора различных напряжений у потребителя.

Если в одном корпусе разместить три катушки под углом 120° друг к другу и на каждую катушку подать синусоидальный переменный ток со сдвигом фаз так же 120° , то внутри корпуса возникнет вращающееся магнитное поле, которое может вращать ротор электродвигателя. Этот принцип используется в большинстве электродвигателей применяемых в промышленности. Напряжение на каждую катушку подается по своей электрической цепи. В такой сети необходимо использовать шесть проводников. Однако если соединить вместе начала катушек источника и концы потребителя то можно использовать три или четыре проводника (рис.1, рис 2). Точка соединения называется нейтральной точкой или **нейтралью**.

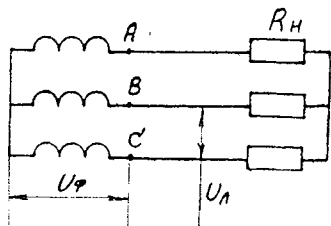


Рисунок 1 - Схема
трехпроводной сети

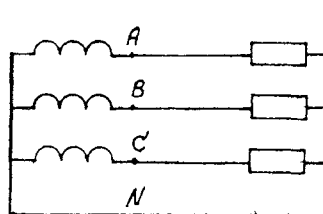


Рисунок 2 - Схема
четырёхпроводной сети

Такой вид трех синхронизированных электрических сетей получил название трехфазные сети. Трёхфазные сети используются для получения, передачи и распределения электроэнергии.

Электрическое напряжение между проводником и нейтралью называется фазным напряжением $U_{\text{ф}}$. Электрическое напряжение между проводниками называется линейным напряжением $U_{\text{л}}$. (Рис.1). Так как в трехфазных сетях между фазами имеется сдвиг на 120° то действующее значение линейного напряжения больше фазного в 1,73 раза.

$$U_{\Delta} = 1,73 U_{\phi}$$

Для передачи электроэнергии на большие расстояния используются сети с напряжением от 6 кВ до 220 кВ. Для питания электропотребителей высокое напряжение снижается посредством трансформатора до напряжения используемого потребителями. В России фазное напряжение промышленных и бытовых сетей равно 220 В. Напряжение между фазами (линейное напряжение) равно 380В.

Обычно токоведущие проводники в трёхфазных сетях обозначаются как А, В, С, нейтраль – N, а напряжение

$$U_{\Delta\phi} = 380/220 \text{ В}$$

При этом фазное напряжение обозначается как: фазы А - U_{A} ; фазы В - U_{B} ; фазы С - U_{C} , а линейное между фазами А и В - U_{AB} ; фазами А и С - U_{AC} ; фазами В и С - U_{BC} ;

В системах электроснабжения потребителей используется два вида трехфазных сетей:

а) система с изолированной от земли нейтралью источника питания (*система IT по международной классификации*). Схема этой сети приведена на рисунке 1;

б) системы с глухозаземленной нейтралью источника питания (*системы TN по международной классификации*). Схемы таких сетей приведены на рисунках 3 и 4.

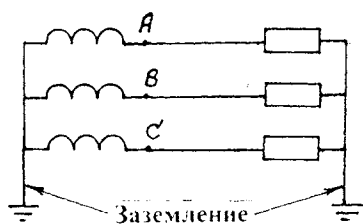


Рисунок 3 - Схема трехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью

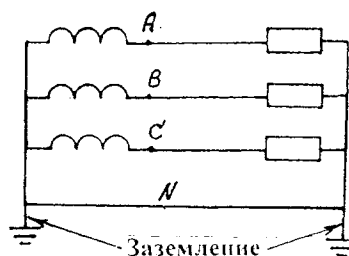


Рисунок 4 - Схема четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью

ЭЛЕКТРООПАСНОСТЬ

Обеспечение защиты человека на производстве от электроопасности обусловлено высокой электронасыщенностью современных технологических процессов и производств. Несмотря на то, что электротравматизм составляет на производстве несколько процентов от общего числа травм, по числу тяжелых травм с летальным исходом поражение людей электрическим током занимает одно из первых мест.

Формирование электроопасности на производстве можно разделить на следующие блоки:

- опасность собственно электрического тока как физического явления при его прохождении через организм человека;
- опасность электрических сетей как транспортных артерий электрического тока;
- опасность электрооборудования как приемников электрического тока;
- электроопасность, обусловленная категорией производственных помещений, в которых эксплуатируются электросети и электрооборудование.

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту работающих от воздействия электрического тока.

Влияние электрического тока на организм человека

При прикосновении человека к двум точкам электрической сети, имеющим разный потенциал тело человека становится участком электрической цепи. При этом через тело человека протекает электрический ток. Результатом прикосновения человека к двум точкам электрической сети является **электротравма** человека.

Электрический ток, протекая через организм человека, вызывает *три вида воздействия*: термическое, электролитическое и биологическое.

Термическое воздействие электрического тока характеризуется нагреванием тканей, вплоть до ожогов.

Электролитическое воздействие проявляется в виде разложения жидкостей, в том числе и крови человека.

Биологическое воздействие электрического тока приводит к нарушению биологических процессов, что сопровождается разрушением и возбуждением тканей и сокращением мышц.

Электротравмы разделяют на три вида:

- **местные** (локальные повреждения организма);
- **общие**, так называемые электрические удары (нарушается деятельность жизненно важных органов и поражается весь организм);
- **смешанные**.

К местным электротравмам относятся электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

Электрические ожоги по условиям возникновения подразделяют на: контактные; дуговые; смешанные.

Контактный ожог возникает при прохождении через тело тока силой более 1 А (в электроустановках напряжением не выше 1-2 кВ) и является, как правило, ожогом кожи I или II степени, может затронуть близлежащие подкожные ткани.

Дуговой ожог является следствием случайных коротких замыканий в установках выше 1000 В и до 10 кВ или следствием ошибочных операций с коммутационной аппаратурой в установках более высоких напряжений. В последнем случае особую опасность представляет дуга, «перебросившаяся» на человека, из-за большой величины тока – до нескольких десятков ампер, проходящего через человека. При дуговом ожоге из-за того, что дуга обладает температурой свыше 3500°C и большой энергией, высушиваются и обугливаются ткани на пути протекания тока, т.е. этот ожог относится к внутреннему ожогу III и IV степени.

Электрические знаки (метки тока) представляют собой пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи в местах контакта с электродами. Эти знаки могут возникать как в момент прохождения тока, так и через некоторое время после контакта. Болезненных ощущений они не вызывают и со временем исчезают бесследно.

Металлизация кожи – это пропитывание поверхности кожи частями металла при его разбрызгивании и испарении под воздействием электрической дуги. Пораженный участок кожи имеет шероховатую поверхность. С течением времени металлизированная кожа отслаивается, болезненные ощущения исчезают и пораженный участок приобретает нормальный вид.

Механическое повреждение – является следствием непроизвольных судорожных сокращений мышц, обусловленных действием тока. В результате таких сокращений происходит разрыв кожного покрова, сухожилий, кровеносных сосудов, нервов, вывихи суставов, переломы костей.

Электроофтальмия – это воспаление наружных оболочек глаз (роговицы, конъюнктивы) в результате воздействия потока ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Электроофтальмия обычно развивается через 4-6 ч после облучения и проявляется в покраснении и воспалении кожи и слизистых оболочек век, слезотечении, гнойных выделениях, возникновении светобоязни и др. Болезнь продолжается несколько дней.

Общие электротравмы (электрические удары) представляют собой возбуждение живых тканей электрическим током, обуславливающее судорожные сокращения мышц. В зависимости от исхода электрические удары разделяются:

- на вызывающие судорожные сокращения мышц без потери сознания, но с работающим сердцем и функционирующей системой дыхания,
- с потерей сознания и нарушением сердечной деятельности или дыхания,
- на удары, вызывающие клиническую смерть пострадавшего.

Причинами смерти от электрического тока являются прекращение дыхания, работы сердца и электрический шок. В период клинической смерти происходит гибель клеток коры головного мозга, очень чувствительных к кислородному голоданию. Обычно длительность клинической смерти составляет 6-8 мин.

Электрический шок – это тяжелая нервно рефлекторная реакция организма на раздражение электрическим током. При шоке возникают глубокие расстройства дыхания, кровообращения, нервной системы, обмена веществ и других систем жизнедеятельности организма (второй признак опасности). Шокоевое состояние может длиться от нескольких десятков минут до суток. В результате активного лечебного вмешательства может наступить выздоровление, но может наступить и биологическая смерть (в результате полного угасания жизненно важных функций организма).

Тело человека как элемент электрической цепи

Как уже говорилось при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, человек включается в электрическую цепь и может рассматриваться как элемент этой цепи. В соответствии с законом Ома ток протекающий через человека пропорционален приложенному напряжению и обратно пропорционален сопротивлению тела человека электрическому току. Так как напряжение промышленных и бытовых сетей равно $U_{зф} = 380/220$ В, то ток через человека можно определить как

$$I_h = \frac{380/220}{R_h}$$

где 380/220 – линейное / фазовое напряжение сети, В;

I_h – ток протекающий через человека, А;

R_h – сопротивление человека, Ом.

Из уравнения видно, что при постоянном напряжении сети ток протекающий через человека зависит от сопротивления тела человека электрическому току.

Сопротивление тела человека — величина нелинейная, колеблющаяся в широких пределах и зависящая от ряда факторов: состояния кожи (сухая, влажная, чистая и т.п.); площади и плотности контактов; значения силы тока, протекающего через человека; значения приложенного напряжения; рода и частоты тока и продолжительности его воздействия.

Величину сопротивления тела человека требуется знать при разработке защитных мер от поражения электрическим током, анализе условий электробезопасности, а также расследовании несчастных случаев.

Разные ткани по разному проводят ток: одни лучше, другие хуже. Наибольшее сопротивление электрическому току оказывает кожа. Другие ткани, в том числе мышечная и жировая, спинной и головной мозг, а также кровь имеют по сравнению с кожей весьма малое сопротивление.

Сопротивление тела человека, т.е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела, у разных людей различно. Неодинаковым оказывается сопротивление тела у одного и того же человека в разное время и при разных условиях измерения.

При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела, измеренное при напряжении 15—20 В переменного тока 50 Гц, колеблется в пределах от 1 до 10 кОм, а иногда и в более широких пределах. Если на участках кожи, где прикладываются электроды, соскоблить роговой слой, сопротивление тела упадет и станет равным 1—5 кОм, а при удалении всего наружного слоя (эпидермиса) — 500—700 Ом. Если же под электродами полностью удалить кожу, то будет измерено сопротивление подкожных тканей тела, которое у всех людей практически одинаково и составляет лишь 300—500 Ом.

Так как сопротивление тела человека электрическому току нелинейно и нестабильно и вести расчёты с такими сопротивлениями сложно, принято условно считать, что сопротивление тела человека стабильно, линейно, активно и составляет 1000 Ом = 1 кОм.

Критерий оценки опасности поражения электрическим током

С самого начала промышленного применения электричества ученые всего мира занимались изучением воздействия электрического тока на человека и последствий этого воздействия. В 1950-х годах было однозначно установлено, что при воздействии электрического тока на человека, наиболее уязвимым органом является его сердце. Фибрилляция (беспорядочные сокращения мышц) сердца может возникать даже при малых значениях тока.

Также было установлено, что степень отрицательного воздействия электрического тока на организм человека зависит от значения тока, протекающего через него, длительности его воздействия, пути прохождения в теле человека а также, в меньшей степени от частоты тока, формы кривой, коэффициента пульсаций и других факторов. Сопротивление тела человека и значение приложенного к нему напряжения также влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значения тока, проходящего через тело человека.

Оценка уровня электробезопасности базируется на сравнении расчетных токов, проходящих через тело человека, с допустимыми. Основными параметрами, от которых зависит исход травмы – это значение тока, протекающего через тело человека и длительность его воздействия. Поэтому они являются критериями электробезопасности.

Первичными критериями электробезопасности считают пороговые значения электротока, которые соответствуют ответным реакциям организма человека. Они требуются для расчета защитных средств и мер в электрических установках.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ (в редакции от 13.07.2017) "Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов" определены предельно допустимые значения переменного тока частотой 50 Гц проходящих через тело человека в производственных электроустановках напряжением до 1000 В, в зависимости от времени воздействия. Значения определены исходя из реакции человека. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам.

Напряжения прикосновения и токи частотой 50 Гц, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 1, а предельно допустимые значения тока через тело человека в зависимости от времени воздействия не должны превышать значений, указанных в таблице 2.

Таблица 1 - 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 |

Таблица 2 - Предельно допустимые значения переменного тока частотой 50 Гц через тело человека в производственных электроустановках в зависимости от времени воздействия.

| 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 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | Св. 1,0 |
| Переменный, 50 Гц | U, В | 550 | 340 | 160 | 135 | 105 | 85 | 70 | 60 | 20 |
| | I, мА | 650 | 400 | 190 | 160 | 125 | 90 | 65 | 50 | 6 |

Защитные меры и средства от поражения электричеством рассчитывают и создают, учитывая значения токов, допустимые для человека, при определенной длительности, а также пути его прохождения через тело либо напряжений прикосновения, соответствующих этим токам.

Факторы, влияющие на уровень поражения электрическим током

Факторы, влияющие на степень поражения человека электрическим током, разделяются на три группы:

- факторы электрического характера.
- факторы неэлектрического характера.
- факторы окружающей среды.

Факторы электрического характера. Ток, протекающий через человека, является главным поражающим фактором при электротравматизме. Чем сила тока больше, тем опаснее его действие.

Раздражающее действие тока промышленной частоты человек начинает ощущать при токе 1,0-1,5 мА. Такие токи *называются пороговыми ощущениями*. Серьезной опасности для человека они не представляют – человек может самостоятельно отделиться от электрической цепи.

При достижении тока 5-10 мА раздражающее его усилие становится ощутимым. Появляются болевые ощущения в мышцах, которые могут привести к их судорогам. При переменных токах 10-15 мА боль и судороги мышц рук и ног становятся такими сильными, что человек не в состоянии самостоятельно разжать руку, отбросить от себя электрический провод, покинуть место поражения. Этот ток называется *пороговым неотпускающим током*. Значения пороговых неотпускающих токов у различных людей различны.

При переменном токе промышленной частоты величиной 25 мА и выше происходит судорожное сокращение не только мышц рук и ног, но и грудной клетки. При токе 50 мА работа органов дыхания очень затруднена, а при токе 100 мА и выше за время 1-2 секунды поражается сердце. Ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца, называется *фибрилляционным током*, а наименьшее его значение *пороговым фибрилляционным током*. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Сердце затрачивает значительную энергию и не производит полезной работы, кровообращение прекращается. Пороговый фибрилляционный ток зависит от многих факторов, в том числе от массы тела человека и колеблется в пределах 50—400 мА (при 50 Гц). Среднее его значение принято считать равным 100 мА при частоте 50 Гц.

Факторы неэлектрического характера. К этим факторам можно отнести:

- увеличение длительности протекания тока через человека;
- путь прохождения тока через тело человека;
- индивидуальные особенности человека;
- психологическую устойчивость человека;
- площадь контакта человека с проводником электрического тока;
- «плотность» контакта;
- состояние кожного покрова ладоней рук. Если кожа плотная, смочена эмульсией, засорена токопроводящей пылью, то сопротивление кожи ладоней резко снижается.

Увеличение длительности протекания тока через человека усугубляет тяжесть поражения за счёт следующих причин:

- уменьшения сопротивления тела человека (из-за усиленного потоотделения, а следовательно, увлажнения кожного покрова) и увеличения силы тока (закон Ома),
- истощения защитных сил организма, противостоящих воздействию электрического тока,
- повышения вероятности совпадения момента прохождения тока через сердце с *уязвимой фазой T кардиоцикла* (когда заканчивается сокращение желудочков сердца и они переходят в расслабленное состояние), длительность которого 0,75-1,00 с, и возникновения фибрилляции сердца.

Путь прохождения тока через тело человека существенно влияет на исход поражения. Опасность поражения особенно велика, если ток проходит через жизненно важные органы (сердце, легкие, головной мозг) и воздействует непосредственно на эти органы (*прямое* воздействие). Если же ток не проходит через эти органы, то его воздействие является *рефлекторным* и вероятность поражения уменьшается.

Пути тока в теле человека называются **петлями** тока.

Чаще всего электротравмы происходят по петле «правая рука - ноги».

Наиболее опасны петли тока «голова – руки», «голова – ноги» и «рука – рука», когда ток проходит через головной, спинной мозг, сердце и легкие. Из наиболее часто встречающихся путей прохождения тока самым опасным является путь «правая рука - ноги». при этом почти 7% проходящего тока приходится на сердце.

Наименьшую опасность представляет путь «нога-нога», (при поражении шаговым напряжением), но этот случай, как и многие другие, вызывает судорожное сокращение мышц и падение человека, что приводит к более тяжелым ситуациям, чем когда ток проходит по пути «рука - ноги» или другим путем.

Индивидуальные особенности человека значительно влияют на исход поражения при электротравмах. Характер воздействия тока зависит от массы человека и его физического состояния, а также и от пола и возраста. Так, установлено, что для женщин пороговое значение тока примерно в **1,5 раза** ниже, чем у мужчин.

Степень воздействия тока сильно зависит от состояния нервной системы и всего организма. Например, в состоянии возбуждения нервной системы или ее депрессии, болезни (особенно болезни кожи, сердечно-сосудистой системы, нервной системы и др.) люди более чувствительны к протекающему через организм току.

Психологическая устойчивость человека. Ей отводится существенная роль. Если человек подготовлен (собран и очень внимателен) к электрическому удару, то опасность резко снижается, в то время как неожиданный удар, как правило, приводит к более тяжелым последствиям. На психологическую устойчивость человека сильное влияние оказывает алкоголь, прием наркотических средств, а также стрессовые перегрузки.

Факторы окружающей среды. Существенное влияние на электробезопасность оказывает окружающая среда.

Опасность поражения человека электрическим током зависит от состояния и вида помещения, где применяются электрические сети и электроустановки.

Согласно правилам устройств электроустановок (ПУЭ пп.1.1.6-1.1.13) помещения по характеру окружающей среды подразделяются на:

- нормальные,
- сухие,
- влажные,
- сырые,
- особо сырые,
- жаркие,
- пыльные
- с химически активной или органической средой.

Нормальными называются сухие помещения, в которых отсутствуют признаки, свойственные помещениям жарким, пыльным и с химически активной или органической средой.

К *сухим* относятся помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60%.

Влажными считаются помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются не постоянно и в небольших количествах, а относительная влажность воздуха составляет 60-75%.

Сырыми являются помещения, относительная влажность воздуха которых длительное время превышает 75%.

Особо сырыми называются помещения, относительная влажность в которых близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

К *жарким* относятся помещения, температура в которых под воздействием различных тепловых излучений превышает постоянно или периодически (более суток) $+30^{\circ}\text{C}$.

Пыльными считаются помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т.д. Пыльные помещения подразделяются на помещения с токопроводящей и с нетокопроводящей пылью.

В помещениях с *химически активной или органической средой* постоянно или в течение длительного времени выделяются агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающе действующие на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

По степени опасности поражения людей электрическим током производственные помещения подразделяются на **три категории**:

1. *Помещения без повышенной опасности*, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;
2. *Помещения с повышенной опасностью*, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:
 - а) сырости (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%) или токопроводящей пыли (оседающей на проводах, проникающей внутрь машин, аппаратов и т.п.);

- б) токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
 - в) высокой температуры (длительно превышает +35град. С);
 - г) возможности одновременного прикосновения человека к имеющим со-единение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппара-татам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрообору-дования - с другой;
3. **Особо опасные помещения**, характеризующиеся наличием следующих усло-вий, создающих особую опасность:
- а) особой сырости (относительная влажность близка к 100%; потолок, стены, пол, предметы покрыты влагой);
 - б) химически активной или органической среды (длительно содержатся агрессивные пары, газы, жидкости. образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части);
 - в) одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Кроме этих факторов на опасность поражения электрическим током влияют атмосферное давление, содержание кислорода и углекислого газа в воздухе, нали-чие микрофлоры и электрическое поле.

Повышение атмосферного давления понижает, а снижение давления уве-личивает степень опасности поражения электрическим током.

Увеличение содержания кислорода в воздухе уменьшает опасность пора-жения электрическим током, а уменьшение - увеличивает.

Содержание углекислого газа в воздухе носит противоположный характер.

Наличие микрофлоры и химических примесей усугубляет опасность.

Электрическое поле уменьшает величину электрического сопротивления организма человека. А чем меньше электрическое сопротивление человека, тем больше ток и опасность поражения.

**Указания по технике безопасности
при выполнении лабораторной работы**

1. Приступать к работе, только изучив инструкцию по её выполнению и получив задание от преподавателя.
2. Запрещается включать стенд без предварительной проверки собранной схемы преподавателем или лаборантом.
3. Запрещается собирать и разбирать заданную схему при включенном электропитании.
4. Запрещается оставлять включенный стенд без надзора.
5. Запрещается проводить операции измерения, не предусмотренные заданием.

При обнаружении неисправностей в работе стенда следует немедленно прекратить работу, отключить стенд от сети и сообщить об этом преподавателю.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Как уже отмечалось на исход поражения существенно влияет путь прохождения тока через тело человека. В настоящей лабораторной работе моделируются случаи прохождения тока петлям «рука – рука» как наиболее опасной и «правая рука - ноги» как наиболее часто встречающийся путей прохождения тока через тело человека.

Применяемое оборудование

Работа выполняется на стенде, лицевая панель которого изображена на рисунке 5.

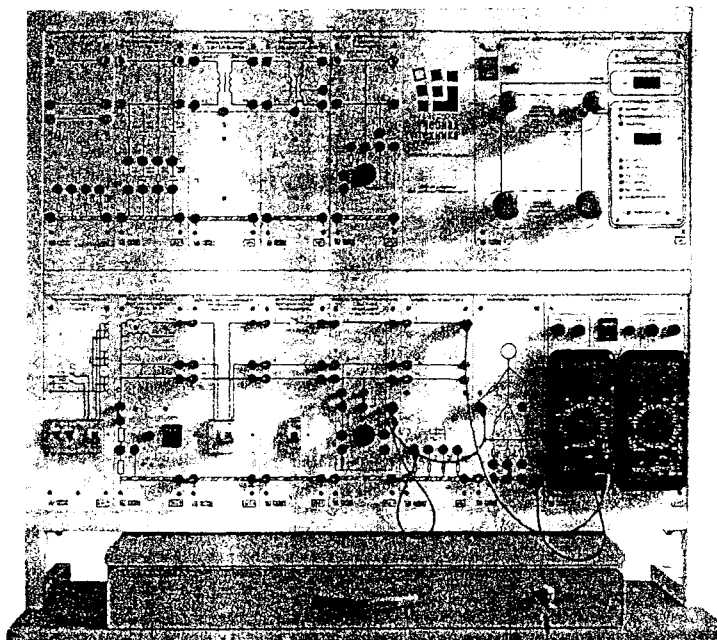
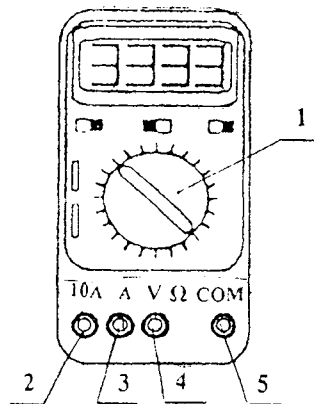


Рисунок 5 - Общий вид лицевой панели стенда.

Модульная конструкция стенда обеспечивает возможность сборки электрической цепи требуемой конфигурации, с необходимыми параметрами ее элементов и измерения параметров режима этой цепи.

Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр (Рисунок 6).



- 1 - Переключатель выбора измеряемой величины и диапазона измерений
- 2 - Клемма для подключения мультиметра в цепь при измерении тока до 10А
- 3 - Клемма для подключения мультиметра в цепь при измерении тока до 2А
- 4 - Клемма для подключения мультиметра в сеть при измерении напряжения до 750В и для измерения сопротивления цепи
- 5 - Клемма для подключения мультиметра к заземленному проводнику

Рисунок 6 - Схема мультиметра

В данной лабораторной работе для измерения напряжения в сети и тока в цепи используются два мультиметра, закрепленные на стенде с правой стороны. Левым мультиметром измеряют напряжения, а правым токи.

Для подключения мультиметров к цепи необходимо выполнить следующие операции:

измерение напряжения в сети

- на левом мультиметре стрелку движка переключателя I (Рисунок 6) установить в секторе $V\sim$ на деление 700В;
- подсоединить гибкие проводники к клеммам **COM** и **V Ω** мультиметра (Рисунок 6);
- гибкими проводниками подсоединить мультиметр к измеряемой цепи согласно схеме проводимого эксперимента (Рисунок 7 или 8).

измерение тока в цепи

- на правом мультиметре стрелку движка переключателя I (Рисунок 6) установить в секторе $A\sim$ на деление 2А;
- подсоединить гибкие проводники к клеммам **COM** и **A** мультиметра (Рисунок 6);
- гибкими проводниками подсоединить мультиметр к измеряемой цепи согласно схеме проводимого эксперимента (Рисунок 7 или 8).

1. Определение силы электрического тока через тело человека при прямом прикосновении его к частям, находящимся под напряжением.

При касании рукой проводника находящегося под напряжением и опираясь при этом на заземленный корпус установки образуется петля прохождения тока через тело человека называемая петлей «рука – рука». Стоя на полу (или леснице, или монтажной вышке) образуется еще одна петля «рука – ноги». Если для расчетов тока в петле «рука – рука» принято условно считать, что сопротивление тела человека стабильно, линейно, активно и составляет 1 кОм, то в петле «рука – ноги» в электрическую цепь включены сопротивление обуви и сопротивление поверхности пола относительно заземления.

Сопротивление обуви зависит от влажности носок (сухие, влажные), материала подошвы (кожа, пластик, резина). Сопротивление пола так же зависит от материала (металл, бетон, дерево) и влажности (мокрый, влажный, сухой). Поэтому при расчете токов, проходящих через тело человека по петле «рука – ноги» необходимо дополнительно учитывать сопротивление обуви и сопротивление поверхности пола.

1.1. Определение силы электрического тока через тело человека при прохождении тока по петле «рука – рука»

В эксперименте моделируется касание человека рукой проводника находящегося под напряжением с образованием петли прохождения тока «рука – рука». На стендовой модели экспериментально определяется величина электрического тока проходящего через тело человека.

Для экспериментального определения силы электрического тока через тело человека при прохождении тока по петле «рука – рука» необходимо на стенде подготовить схему модельного эксперимента соединив проводниками-скобами и, при необходимости, гибкими проводниками блоки стенда в соответствии с Рисунком 6 и провести замеры в соответствии с указаниями по проведению эксперимента.

ВНИМАНИЕ! ВСЕ СОЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЬ ТОЛЬКО ПРИ ВЫКЛЮЧЕННОМ СТЕНДЕ.

Указания по проведению эксперимента

1. Убедитесь, что стенд отключён от сети электропитания (Автоматический выключатель на блоке 218.8 выключен).
2. Убедитесь, что все устройства стенда отключены от сети электропитания.
3. Подготовьте к работе мультиметры как описано в разделе «Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра»

4. Соедините блоки используемые в эксперименте гибкими проводниками и проводниками-скобами в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на **Рисунке 7** жирными линиями.
5. Гибкий проводник от точки 1 блока 309.1(рука) **не подключен** к «оголенному проводнику» (гнездо фазы «L» электроприемника (блок 388.1)).
6. **Показать подготовленный к эксперименту стенд преподавателю!**
7. Включите автоматический выключатель на блоке 218.8.
8. Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров 509.2.1.
9. Включите выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1.
10. Включите автоматический выключатель на блоке 359.1. При этом должна загореться индикаторная лампа, показывающая подачу напряжения на модель электроприемника (блок 388.1).
11. На блоке 309.1 (модель тела человека) точки 3,4,5 должны быть отключены от проводника «Земля». При этом моделируется сопротивление цепи человек-обувь-пол равное бесконечности и в случае касания рукой оголенного проводника, находящегося под напряжением, ток по петле «рука – ноги» будет отсутствовать.
12. Вольтметр (левый мультиметр) покажет напряжение в сети, равно примерно 220В. Амперметр (правый мультиметр) должен показать 0 А, т.е. отсутствие тока через тело человека.
13. Отключить рабочую часть стенда от электропитания выключив выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1. При этом индикаторная лампа, показывающая подачу напряжения на модель электроприемника погаснет (блок 388.1).
14. Смоделируйте прямое прикосновение человека к оголенному проводнику, находящемуся под напряжением, **подключив** конец проводника соединенного с точкой 1 блока 309.1 (рука человека) к гнезду фазы «L» электроприемника (блок 388.1), как это показано на Рисунке 7.
15. **Показать подготовленный к эксперименту стенд преподавателю!**
16. Подключить рабочую часть стенда к электропитанию включив последовательно выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1. При этом индикаторная лампа, показывающая подачу напряжения на модель электроприемника (блок 388.1) загорится.

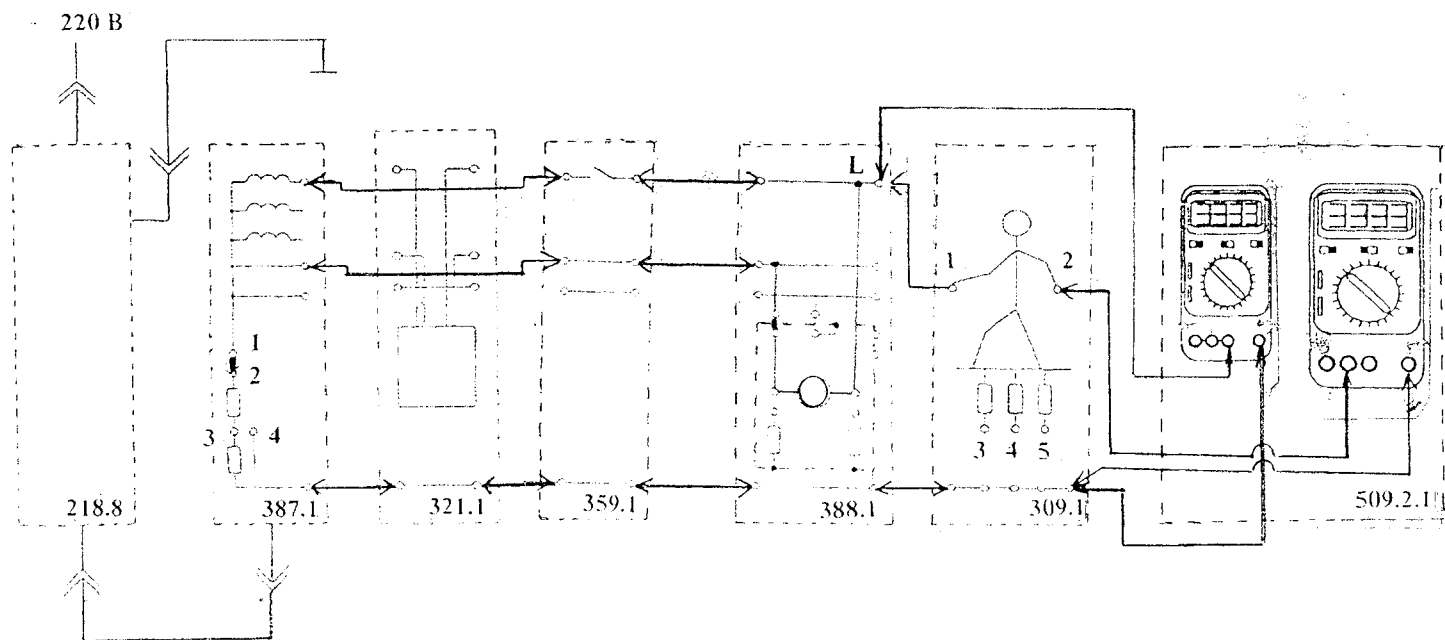


Рисунок 7 Схема для определения силы электрического тока, протекающего через тело человека по петле «рука – рука», при прямом прикосновении его к частям электроприёмников, находящимся под напряжением

17. Вольтметр (левый мультиметр) покажет напряжение в сети, равное примерно 220В. Амперметр (правый мультиметр) покажет ток протекающий через тело человека по петле «рука – рука».
18. Занесите полученный результат в протокол измерений.
19. По завершении эксперимента отключите рабочую часть стенда от электропитания выключив выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1.

1.2. Определение силы электрического тока через тело человека при прохождении тока по петле «рука – ноги»

Данный эксперимент отличается от предыдущего тем, что человек одной рукой касается проводника находящегося под напряжением, а вторая рука **не касается** заземленных электропроводных частей окружающих его установок. Образуемая при таком касании электрическая цепь (проводник - рука - тело - обувь – пол - земля) называется петлей «рука – ноги». При этом обувь и пол на котором стоит человек могут иметь различное суммарное сопротивление прохождению электрического тока. Поэтому эксперимент проводится для трех различных состояний части цепи «обувь – пол – земля».

Для определения силы электрического тока через тело человека при прохождении тока по петле «рука – ноги» необходимо на стенде подготовить схему модельного эксперимента соединив проводниками-скобами и, при необходимости, гибкими проводниками блоки стенда в соответствии с **Рисунком 8** и провести замеры в соответствии с указаниями по проведению эксперимента.

ВНИМАНИЕ! ВСЕ СОЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЬ ТОЛЬКО ПРИ ВЫКЛЮЧЕННОМ СТЕНДЕ.

Указания по проведению эксперимента

Этап I Модель эксперимента - сухая обувь на подошве из кожи или пластика и сухой деревянный пол или пол с пластиковым покрытием.

1. Убедитесь, что стенд отключён от сети электропитания (Автоматический выключатель на блоке 218.8 выключен).

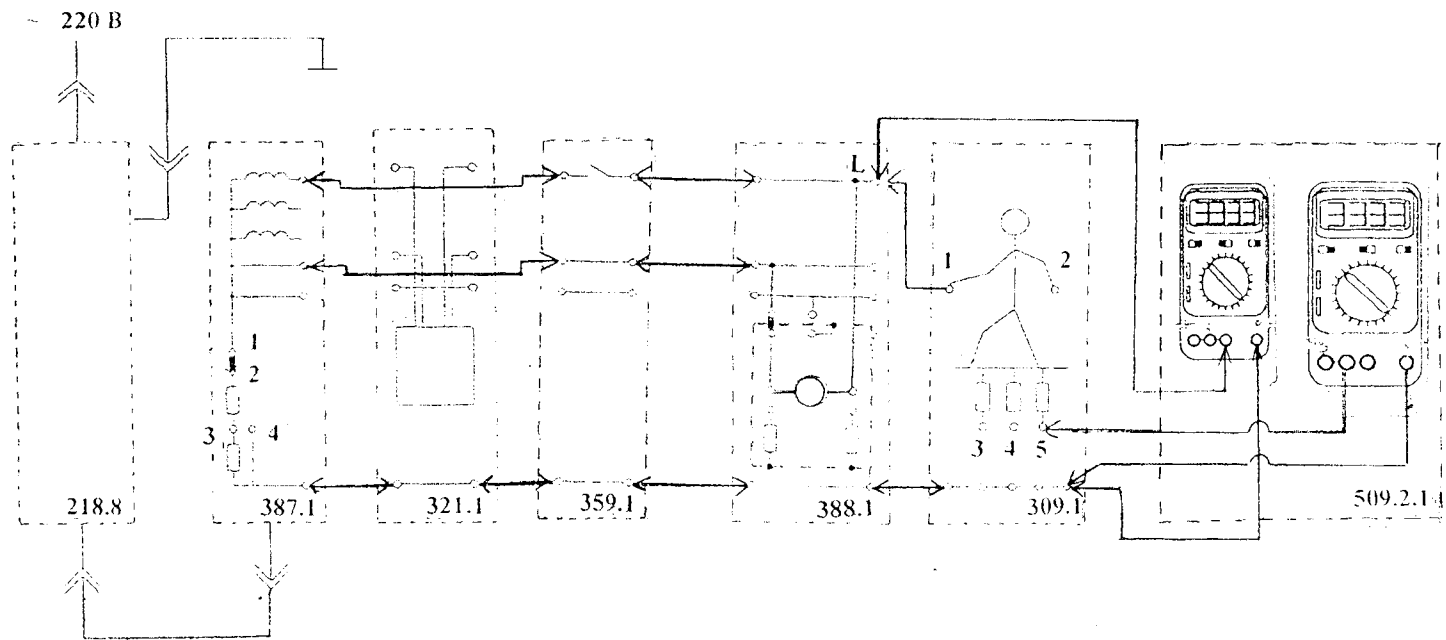


Рисунок 8 Схема для определения силы электрического тока, протекающего через тело человека по петле «рука – ноги», при прямом прикосновении его к частям электроприёмников, находящимся под напряжением

2. Убедитесь, что все устройства стенда отключены от сети электропитания.
3. Отсоедините гибкий проводник от точки 1 блока 309.1 (рука) от «оголенного проводника» (гнездо фазы «L» электроприемника (блок 388.1).
4. Отсоедините проводник амперметра (правый мультиметр на блоке 509.2) от гнезда 2 на блоке 309.1 и подключите его к гнезду 5 на том же блоке. При этом моделируется сопротивление цепи человек-обувь-пол при сухой обуви на подошве из кожи или пластика и сухим деревянным полом или полом с пластиковым покрытием.
5. Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, соединив конец проводника от точки 1 блока 309.1 и гнездо фазы «L» электроприемника (блок 388.1), как это показано на рисунке 8.
6. **Показать подготовленный к эксперименту стенд преподавателю!**
7. Включите автоматический выключатель на блоке 218.8.
8. Подключите рабочую часть стенда к электропитанию включив последовательно выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1. При этом индикаторная лампа, показывающая подачу напряжения на модель электроприемника (блок 388.1) загорится.
9. Вольтметр (левый мультиметр) покажет напряжение в сети, равное примерно 220В. Амперметр (правый мультиметр) покажет ток протекающий через тело человека по петле «рука – ноги». В данном случае сопротивление цепи петля «рука – ноги» велико, то ток в цепи очень мал (амперметр показывает 0 т.к. чувствительность амперметра недостаточна для измерения величины тока).
10. Занесите полученный результат в протокол измерений.

Этап II Модель эксперимента - сухая обувь на подошве из кожи или пластика и влажный бетонный или металлический пол.

11. Убедитесь, что стенд отключён от сети электропитания (Автоматический выключатель на блоке 218.8 выключен).
12. Убедитесь, что все устройства стенда отключены от сети электропитания.

13. Отсоедините проводник амперметра (правый мультиметр на блоке 509.2) от гнезда 5 на блоке 309.1 и подключите его к гнезду 4 на том же блоке. При этом моделируется сопротивление цепи человек-обувь-пол при сухой обуви на подошве из кожи или пластика на влажном бетонном или металлическом полу.
14. Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, соединив конец проводника от точки 1 блока 309.1 и гнездо фазы «L» электроприемника (блок 388.1).
15. Включите автоматический выключатель на блоке 218.8.
16. Подключите рабочую часть стенда к электропитанию включив последовательно выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1. При этом индикаторная лампа, показывающая подачу напряжения на модель электроприемника (блок 388.1) загорится.
17. Вольтметр (левый мультиметр) покажет напряжение в сети, равное примерно 220В. Амперметр (правый мультиметр) покажет ток протекающий через тело человека по петле «рука – ноги».
18. Занесите полученный результат в протокол измерений.

Этап III Модель эксперимента - влажная обувь и влажный бетонный или металлический пол.

19. Убедитесь, что стенд отключён от сети электропитания (Автоматический выключатель на блоке 218.8 выключен).
20. Убедитесь, что все устройства стенда отключены от сети электропитания.
21. Отсоедините проводник амперметра (правый мультиметр на блоке 509.2) от гнезда 4 на блоке 309.1 и подключите его к гнезду 3 на том же блоке. При этом моделируется сопротивление цепи человек-обувь-пол при влажной обуви на влажном бетонном или металлическом полу.
22. Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, соединив конец проводника от точки 1 блока 309.1 и гнездо фазы «L» электроприемника (блок 388.1).
23. Включите автоматический выключатель на блоке 218.8.

24. Подключите рабочую часть стенда к электропитанию включив последовательно выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1. При этом индикаторная лампа, показывающая подачу напряжения на модель электроприемника (блок 388.1) загорится.
25. Вольтметр (левый мультиметр) покажет напряжение в сети, равное примерно 220В. Амперметр (правый мультиметр) покажет ток протекающий через тело человека по петле «рука – ноги».
26. Занесите полученный результат в протокол измерений.
27. По завершении экспериментов отключите рабочую часть стенда от электропитания выключив выключатель «ПИТАНИЕ» на блоке 387.1 и автоматический выключатель на блоке 359.1.

По полученным значениям токов определить возможные реакции организма человека по таб.3.

Таблица 3 Реакция человека на протекание переменного электрического тока частотой 50 Гц

| Ток, мА | Характер воздействия тока |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|
| 0,6—1,5 | Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук. |
| 2—3 | Сильное дрожание пальцев рук. |
| 5—7 | Начало судорог в руках. |
| 8—10 | Руки трудно, но еще можно оторвать от электродов. Сильные боли. |
| 20—25 | Паралич рук. Дыхание затруднено. |
| 50—80 | Паралич дыхания. Начало трепетания желудочков сердца. |
| 90—100 | Фибрилляция сердца. При длительности 3 секунды и более - паралич сердца. |

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
Оценка опасности поражения током в электрических сетях
напряжением до 1000 В

ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Группа _____ Фамилия И.О. _____ Дата _____

Краткое описание экспериментов

Результаты экспериментов

по определению силы электрического тока, протекающего через тело человека при прямом прикосновении его к частям электроприёмников, находящимся под напряжением и прогнозируемой реакции человека

| № эксперимента | Сопротивление цепи человек-обувь-пол, кОм | Напряжение касания, В | Ток через тело человека, мА | Прогнозируемая реакция человека |
|---------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Петля «рука – рука» | | | | |
| 1 | Более 1 000 | | | |
| Петля «рука – ноги» | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |

Форма отчета

Отчёт оформляется на отдельных стандартных листах бумаги формата А4 в виде протокола исследований с указанием фамилии и инициалов студента, № группы, даты выполнения исследования.

Внести в отчёт цель лабораторной работы и некоторые теоретические вопросы, касающиеся непосредственного выполнения работы.

По каждому исследованию обозначить поставленную задачу.

Все результаты проведенных исследований представить в виде табличного материала.

По каждому исследованию провести анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы.

Подготовиться к отчёту по лабораторной работе (см. список вопросов для самопроверки).

Контрольные вопросы

1. Какое воздействие оказывает электрический ток на организм человека?
2. Что собой представляет электротравма?
3. Какие виды травм бывают при воздействии электрического тока на человека?
4. Какие особенности отличают электротравматизм от других видов травматизма?
5. Какие виды воздействий электрического тока Вы знаете?
6. Что Вы знаете об электрических ожогах?
7. Чем характеризуются электрические знаки, и чем они опасны?
8. Расскажите об опасности металлизации кожи.
9. Чем обусловлено механическое повреждение при воздействии электрического тока?
10. Расскажите об опасности электроофтальмии.
11. Чем опасен электрический удар?
12. Что собой представляет электрический шок?
13. Расскажите о факторах электрического характера.
14. Расскажите о параметрах электрического тока и их опасности по воздействию на человека.
15. Как зависит воздействие тока на организм от силы тока? Что такое пороговые, осязаемые токи, неотпускающие токи, фибрилляционные токи?
16. Чем характеризуются неэлектрические факторы?
17. В чем состоит опасность увеличения длительности протекания тока через тело человека?
18. Что вы знаете о путях прохождения тока через тело человека?
19. Как влияют индивидуальные особенности человека на условия его поражения электрическим током?
20. Что Вы можете рассказать о факторах окружающей среды и условиях поражения человека электрическим током?

Литература

1. Правила устройства электроустановок [Текст]. - 7-е изд. - М. : Омега-Л, 2013. - 269 с. : табл. - (Безопасность и охрана труда). - ISBN 978-5-37002878-6
2. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок) [Текст] : ПОТ РМ - 016-2001, РД 153-34.003.150-00. - М.: Омега-Л, 2012. - 152 с.
3. Долин, Петр Алексеевич. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему [Текст] / Долин А.А. - М. : Энергоатомиздат, 2000. - 141 с.
4. Электробезопасность: теория и практика: учеб. пособие / П. А. Долин [и др.]; под ред. В. Т. Медведева. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2012. - 280 с.
5. Сибикин, Юрий Дмитриевич. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: учеб. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - 5-е изд., испр. - М : Академия. 2010. - 235 с.: ил. - (Электротехника). - Библиогр.: с. 230.
6. Комплект типового лабораторного оборудования «Электробезопасность в электроустановках до 1000 В» ЭБЭУ2-Н-Р. Паспорт. Руководство по выполнению базовых экспериментов. 2015.

Учебное издание

**ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ
В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

Методические указания

Составитель *Копытин Юрий Александрович*

Самарский государственный
аэрокосмический университет
443086, Самара, Московское шоссе, 34