

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
им. И РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Техносферная безопасность»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА**

Методические указания к лабораторной работе №21
по дисциплине «**Безопасность жизнедеятельности**»
для студентов всех специальностей и всех форм обучения

Бишкек 2019

Составители: **Жапакова Б.С. Аалымуханбет у. Ж.**

УДК 621.313-83(075)

Исследование электрического сопротивления тела человека: Методическое руководство к лабораторной работе по курсу “Безопасность жизнедеятельности” для студентов всех специальностей и всех форм обучения.

Рецензент: доцент Сариев Бактыбек Имангазиевич

Лабораторная работа № 21

Исследование электрического сопротивления тела человека

Цель работы: получить сведения о действии электрического тока на организм человека и о факторах, влияющих на исход поражения человека электрическим током; исследовать электрическое сопротивление тела человека.

Теоретическая часть

Характер и тяжесть поражения электрическим током зависят от ряда факторов, таких как величина и длительность протекания тока через тело человека, путь тока в теле человека, род и частота действующего тока, электрическое сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение, индивидуальные свойства человека и параметры окружающей среды, фактор внимания. Величина тока, протекающего через тело человека, является основным фактором, влияющим на исход поражения.

Реакции организма при протекании тока частотой 50 Гц по пути «рука-рука» или «рука-ноги» - следующие. При токах до 0,6 мА ощущения не наблюдаются. При токах, превышающих в среднем 1 мА и называемых ощутимыми токами, появляются ощущения слабого зуда и легкого пощипывания. При токах в несколько мА происходят судорожные сокращения мышц и болезненные ощущения, которые с ростом тока усиливаются и распространяются на все большие участки тела. При токах более 10 мА (в среднем 15 мА), называемых неотпускающими, возникает едва переносимая боль, а судороги мышц руки становятся непреодолимыми, и человек не в состоянии разжать руку, в которой зажата токоведущая часть. Токи 25-50 мА приводят к параличу рук и сильному затруднению дыхания из-за судорожных сокращений мышц грудной клетки. Кроме того, резко повышается кровяное давление из-за сужения кровеносных сосудов, ухудшается работа сердца. При токах более 50 мА наблюдается паралич дыхания. В диапазоне токов от 50 мА до 5 А при времени воздействия 1-3 с происходит фибрилляция сердца. Токи в 5 А и более вызывают немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции, однако после отключения тока дыхание, как правило, самостоятельно не восстанавливается, и требуется оказывать помощь пострадавшему в виде искусственного дыхания. Для оценки опасности поражения током принято использовать пороговые токи: ощутимый, неотпускающий и фибрилляционный.

Пороговыми токами называют наименьшие значения соответствующих токов. Значения пороговых токов зависят от рода тока, частоты и различны у разных людей, поэтому рассматривают вероятность возникновения соответствующих эффектов воздействия тока.

Пороговый осязаемый ток составляет в среднем 1 мА при $f = 50$ Гц и 6 мА при постоянном токе.

Пороговый неотпускающий ток составляет 10 мА при $f = 50$ Гц и 50 мА при постоянном токе. В последнем случае едва переносимая боль возникает в момент отрыва рук от электродов.

Пороговый фибрилляционный ток составляет примерно 100 мА при $f = 50$ Гц и 300 мА при постоянном токе. Верхний предел фибрилляционного тока составляет 5 А.

Продолжительность воздействия тока оказывает существенное влияние на исход поражения человека электрическим током. Чем дольше действие тока, тем больше вероятность тяжелого или даже смертельного исхода поражения. Объясняется это тем, что с увеличением времени воздействия тока на живые ткани повышается его значение за счет уменьшения сопротивления тела человека, накапливаются последствия воздействия тока на организм, и повышается вероятность совпадения момента прохождения тока через сердце с уязвимой фазой Т кардиоцикла. Продолжительность фазы Т составляет около 0,2 с.

Путь тока в теле человека оказывает существенное влияние на исход поражения. Наиболее тяжелые электротравмы возникают в случаях, когда на пути тока оказываются жизненно важные органы (мозг, сердце, легкие) или уязвимые зоны, особо чувствительные к электрическому току. Наиболее опасными путями протекания тока через тело человека являются: "голова – руки", "голова – ноги", "рука – рука", "рука – ноги". Наиболее уязвимые зоны расположены на внешней стороне кисти рук, на руках выше кисти, спине, шее, висках, плечах, передней части ног. Образование электрической цепи через уязвимые места при неблагоприятном стечении обстоятельств может привести к тяжелым исходам поражения при токах даже в несколько миллиампер.

Род и частота тока также в значительной степени определяют исход поражения. Наиболее опасными являются переменные токи с частотами в диапазоне 20 – 100 Гц. При частотах меньше 20 Гц или больше 100 Гц опасность поражения током снижается. Токи с частотами в несколько сотен кГц и выше фибрилляции сердца практически не вызывают, однако это не означает, что их следует считать безопасными, т. к. возможность их термического и биологического действия сохраняется. При напряжениях до 500 В

переменный ток с частотой 50 Гц условно можно считать в 3 – 4 раза опаснее постоянного. При более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного из-за более тяжелых форм ожогов.

Индивидуальные свойства человека также влияют на исход поражения электрическим током. Установлено, что физически здоровые и крепкие люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к электрическому току обладают лица, страдающие рядом заболеваний, в первую очередь болезнями кожи, сердечно-сосудистой системы, органов внутренней секреции, лёгких, нервными болезнями. Утомление, возникающее к концу рабочего дня, снижая внимательность, не только увеличивает вероятность поражения током, но и может усугубить его тяжесть. Отягощают электротравму алкогольные опьянения и болезненные состояния, приводящие к истощению нервной системы.

Условия внешней среды в некоторых случаях увеличивают опасность поражения током. Повышенная влажность и температура, пониженное атмосферное давление, уменьшенное содержание кислорода и увеличенное содержание углекислого газа повышают чувствительность организма к воздействию электрического тока.

Фактор внимания учитывает состояние центральной нервной системы человека. Установлено, что последствия поражения в результате неожиданного электрического удара могут оказаться более тяжелыми по сравнению со случаем, если тот же человек получит электрический удар, ожидая его. Наиболее опасные электротравмы происходят с людьми, случайно оказавшимися под напряжением.

Нормирование напряжений прикосновения и токов через тело человека

Для правильного проектирования способов и средств защиты людей от поражения электрическим током необходимо знать допустимые уровни напряжений прикосновения и значений токов, протекающих через тело человека.

Напряжением прикосновения называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения $U_{пд}$ и токов $I_{пд}$, протекающих через тело человека по пути "рука – рука" или "рука – ноги" при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, согласно ГОСТ 12.1.038-82* приведены в табл. 1.

При аварийном режиме производственных и бытовых приборов и электроустановок напряжением до 1000 В с любым режимом

нейтрали предельно допустимые значения $U_{\text{пд}}$ и $I_{\text{пд}}$ не должны превышать значений, приведенных в табл. 2.

Аварийный режим означает, что электроустановка неисправна, и могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмам.

При продолжительности воздействия более 1 с величины $U_{\text{пд}}$ и $I_{\text{пд}}$ соответствуют отпускающим значениям для переменного и условно неболевым для постоянного токов.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов в нормальном режиме работы электроустановки

Таблица 1

Род и частота тока	$U_{\text{пд}}$, В	$I_{\text{пд}}$, мА	Время действия
Переменный, 50 Гц	2	0,3	Не более 10 минут в сутки
Переменный, 400 Гц	3	0,4	
Постоянный	8	1,0	

Примечание. Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75 %), должны быть уменьшены в 3 раза.

Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов в аварийном режиме работы электроустановки

Таблица 2

Продолжительность действия электрического тока, с	Производственные электроустановки		Бытовые приборы, электроустановки	
	$U_{\text{пд}}$, В	$I_{\text{пд}}$, мА	$U_{\text{пд}}$, В	$I_{\text{пд}}$, мА
0,01 – 0,08	550	650	220	220

0,1	340	400	200	200
0,2	160	190	100	100
0,4	120	140	55	55
0,6	95	105	40	40
0,8	75	75	30	30
1,0	60	50	25	25
СВЫШЕ 1,0	20	6	12	2

Электрическое сопротивление тела человека

Значение тока через тело человека сильно влияет на тяжесть электротравм. В свою очередь, сам ток согласно закону Ома определяется сопротивлением тела человека и приложенным к нему напряжением, т.е. напряжением прикосновения.

Проводимость живых тканей обусловлена не только физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, присущими лишь живой материи. Поэтому сопротивление тела человека является комплексной переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, окружающей среды, центральной нервной системы, физиологических факторов. На практике под сопротивлением тела человека понимают модуль его комплексного сопротивления.

Электрическое сопротивление различных тканей и жидкостей тела человека не одинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа, нервные волокна, спинной и головной мозг – малое сопротивление.

Сопротивление тела человека, т.е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела, в основном определяется сопротивлением кожи. Кожа состоит из двух основных слоев: наружного (эпидермис) и внутреннего (дерма).

Эпидермис можно условно представить состоящим из рогового и росткового слоев. Роговой слой состоит из мертвых ороговевших клеток, лишен кровеносных сосудов и нервов и поэтому является слоем неживой ткани. Толщина этого слоя колеблется в пределах 0,05

– 0,2 мм. В сухом и незагрязненном состоянии роговой слой можно рассматривать как пористый диэлектрик, пронизанный множеством протоков сальных и потовых желез и обладающий большим удельным сопротивлением. Ростковый слой примыкает к роговому слою и состоит в основном из живых клеток. Электрическое сопротивление этого слоя благодаря наличию в нём отмирающих и находящихся на стадии ороговения клеток может в несколько раз превышать сопротивление внутреннего слоя кожи (дермы) и внутренних тканей организма, хотя по сравнению с сопротивлением рогового слоя оно невелико.

Дерма состоит из волокон соединительной ткани, образующих густую, прочную, эластичную сетку. В этом слое находятся кровеносные и лимфатические сосуды, нервные окончания, корни волос, а также потовые и сальные железы, выводные протоки которых выходят на поверхность кожи, пронизывая эпидермис. Электрическое сопротивление дермы, являющейся живой тканью, невелико.

Полное сопротивление тела человека есть сумма сопротивлений тканей, расположенных на пути протекания тока. Основным физиологическим фактором, определяющим величину полного сопротивления тела человека, является состояние кожного покрова в цепи тока. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека, измеренное при напряжении 15 - 20 В, колеблется от единиц до десятков кОм. Если на участке кожи, где прикладываются электроды, соскоблить роговой слой, сопротивление тела упадет до 1 – 5 кОм, а при удалении всего эпидермиса – до 500 – 700 Ом. Если под электродами полностью удалить кожу, то будет измерено сопротивление внутренних тканей, которое составляет 300 – 500 Ом.

Сопротивление тела человека зависит также и от места приложения электродов, что объясняется различной толщиной рогового слоя кожи, неравномерным распределением потовых желез на поверхности тела, неодинаковой степенью наполнения кровью сосудов кожи.

Прохождение тока через тело человека сопровождается местным нагревом кожи и раздражающим действием, что вызывает рефлекторное расширение сосудов кожи и, соответственно, усиленное снабжение ее кровью и повышенное потоотделение, что, в свою очередь, приводит к снижению сопротивления кожи в данном месте. При небольших напряжениях (20 -30 В) за 1 – 2 минуты сопротивление кожи под электродами может понизиться на 10 – 40 % (в среднем на 25 %).

Повышение напряжения, приложенного к телу человека, вызывает уменьшение его сопротивления. При напряжениях в

десять вольт это происходит из-за рефлекторных реакций организма в ответ на раздражающее действие тока (усиление снабжения сосудов кожи кровью, потоотделение). При повышении напряжения до 100 В и выше происходят сначала локальные, а затем и сплошные электрические пробой рогового слоя кожи под электродами. По этой причине при напряжениях около 200 В и выше сопротивление тела человека практически равно сопротивлению внутренних тканей $R_{вн}$.

При ориентировочной оценке опасности поражения электрическим током сопротивление тела человека принимают равным 1 кОм ($R_{чел.} = 1 \text{ кОм}$). Точное значение расчетных сопротивлений при разработке, расчёте и проверке защитных мер в электроустановках выбирается согласно ГОСТ 12.038-82*.

Экспериментальная часть

Исследование электрического сопротивления тела человека осуществляется на лабораторном стенде, общая схема которого приведена на рис. 1.

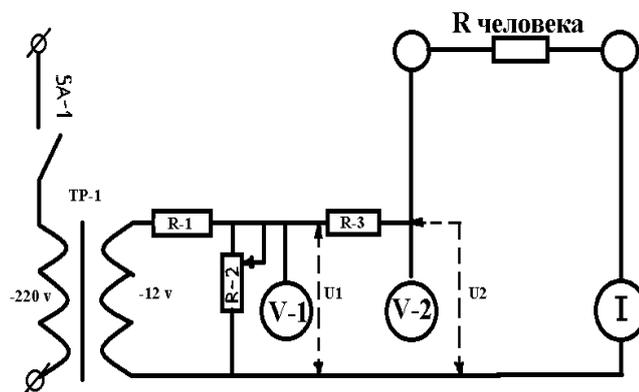


Рис. 1. Общая схема лабораторного стенда

В состав стенда входят регулятор напряжения, измеритель тока I-1 (миллиамперметр), два вольтметра V-1 (U_r), V-2 ($U_{пр.}$) и переключатель масштаба тока.

Проведение эксперимента

Перед включением экспериментальной установки в электросеть должно быть проверено отсутствие электрической связи измерительного контура с корпусами приборов.

Экспериментальную установку подготавливает к работе преподаватель, ведущий занятия. Стенд включается через пуск SA-1, Стрелочные показатели измерительных приборов I-1, V-1 и V-2 должны быть на нуле. Каждый студент после допуска преподавателя самостоятельно измеряет на экспериментальной установке сопротивление своего тела. Для этого с помощью регулятора напряжения устанавливается напряжение генератора $U_{\Gamma} = 3-10$ В (вольтметр V-1). Затем сухими руками сжимают электроды. При заполнении таблицы используются данные измерений значений тока I_o (I-1) и все значения напряжений U_{Γ} (V-1) от 1 до 10 в и напряжении прикосновения $U_{\text{пр.}}$ (V-1).

Таблица 3

$U_{\Gamma}, \text{В}$	M	$I_o, \text{мА}$	$U_{\text{пр}}$	$R_{\text{чел.}}$

M – выбранный масштаб измерения тока. При этом ток проходящий через тело человека

$$I_{\text{чел.}} = M I_o. \quad (1)$$

На основе значений параметров $U_{\text{пр.}}$ и $I_{\text{чел.}}$ вычисляются значения сопротивлений тела человека $R_{\text{чел.}}$ (кОм):

$$R_{\text{чел.}} = \frac{U_{\text{пр.}}}{I_{\text{чел.}}} \quad (2)$$

Расчёт параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека R-3:

$$I_{\text{чел.}} = \frac{U_{\Gamma} - U_{\text{пр.}}}{R-3} \quad (3)$$

$$R-3 = \frac{U_{\Gamma} - U_{\text{пр.}}}{I_{\text{чел.}}} \quad (4)$$

Содержание отчёта

1. Таблица 4 с экспериментальными и расчетными данными.
2. Графики зависимостей $R_{\text{чел}} = F(U_{\text{пр.}})$ и $R_{\text{чел}} = F(I_{\text{чел.}})$.
3. Расчёт параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека R-3.

Контрольные вопросы

1. Действие электрического тока на организм человека, местные электротравмы и электрические удары.
2. Причины смертельного исхода поражения электрическим током.
3. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током.
4. Факторы, влияющие на значение сопротивления тела человека.

Библиографический список

1. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. Л.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Охрана труда в электроустановках /Под ред. Б. А. Князевского. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 81 – 89.
4. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. М.: Знак, 2003.
5. ГОСТ 12.1.038-82* ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».

