

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности»

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
для студентов направлений 13.03.02, 15.03.04, 20.03.01, 27.03.04

Курган 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Теоретическая часть.....	4
2 Описание приборов.....	14
3 Меры безопасности.....	16
4 Методика проведения измерений.....	16
5 Порядок выполнения работы.....	18
6 Контрольные вопросы	20
Список литературы.....	20

Введение

Электрическая энергия используется во всех сферах деятельности человека, так как удобна в транспортировке и применении. При всех преимуществах применения электроэнергии нельзя игнорировать её опасность для человека.

Основной причиной поражения человека и возникновения электротравм является замыкание электрической цепи через тело человека, что начинается с прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением: к оголенным проводам, к конструктивным частям сети и электрооборудования при повреждении изоляции.

Основными факторами, определяющими исход поражения, являются сопротивление тела человека Z_h и величина приложенного к нему напряжения. Величина тока, протекающего через человека, определяется обычно как отношение приложенного напряжения к сопротивлению тела человека, т. е. по закону Ома. В расчетах сопротивление тела принимается как активное постоянное сопротивление, равное 1000 Ω . В то же время, сопротивление человека – величина переменная, зависящая от многих факторов (состояние кожи, величина приложенного напряжения, психофизическое состояние человека и т. п.).

Было установлено, что тело человека обладает электрическим сопротивлением, принципиально отличным от электрического сопротивления металлических проводников, электролитов и даже полупроводников, представляя сложнейшую комплексную систему со всеми видами электропроводности, находящуюся в состоянии постоянного изменения и преобразования во времени.

С повышением напряжения сопротивление тела человека резко уменьшается, при этом сопротивление человека зависит от частоты тока и продолжительности наложения напряжения, а величина сопротивления со временем уменьшается. Таким образом, удалось установить нелинейную зависимость электрического сопротивления тела человека от времени.

Цель работы: ознакомиться с методикой исследования электротехнических параметров тела человека. Изучить зависимость сопротивления тела человека от частоты, приложенного напряжения и площади контакта с токоведущей частью.

1 Теоретическая часть

Тело человека является проводником электрического тока с различным электрическим сопротивлением. Наибольшее сопротивление электрическому току оказывает кожа, поэтому сопротивление тела человека определяется, главным образом, сопротивлением кожи.

Электрическое сопротивление тела человека складывается из сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей. Кожа, вернее ее верхний слой, называемый эпидермисом, имеющий толщину до 0,2 мм и состоящий в основном из мертвых ороговевших клеток, обладает большим сопротивлением, которое и определяет общее сопротивление тела человека. Сопротивление внутренних тканей человека незначительно и составляет 300-500 Ом. При сухой чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека колеблется в пределах от 2 тыс. до 2 млн Ом. При увлажнении и загрязнении кожи, а также при повреждении кожи (под контактами) сопротивление тела значительно снижается –

до 500 Ом, т. е. доходит до значения, равного сопротивлению внутренних тканей тела.

Потовыделение обусловлено деятельностью потовых желез, находящихся в нижнем (внутреннем) слое кожи (рисунок 1). У человека около 500 потовых желез на 1 см² кожи.

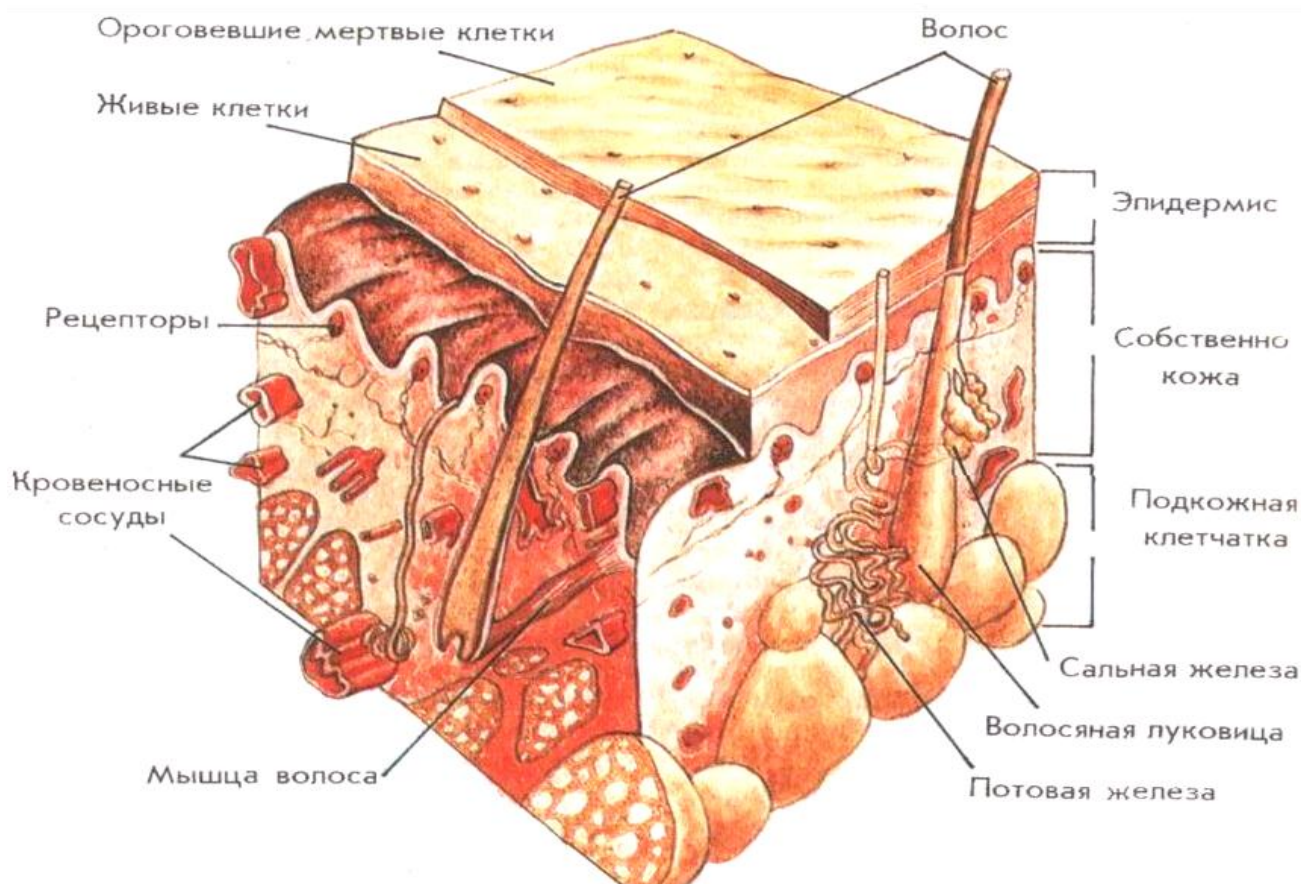


Рисунок 1 – Строение кожи человека

С увеличением тока и времени его прохождения сопротивление тела человека падает, так как при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к расширению ее сосудов, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению потовыделения.

Кожа состоит из двух основных слоев: наружного – эпидермиса и внутреннего – дермы. Эпидермис, в свою очередь, имеет несколько слоев, из которых самый толстый верхний слой называется роговым.

Роговой слой включает в себя несколько десятков рядов мертвых ороговевших клеток, имеющих вид чешуек, плотно прилегающих одна к другой. Каждая такая чешуйка представляет собой плотную роговую оболочку, как бы сплюснутую маленькую подушечку, содержащую небольшое количество воздуха. Роговой слой лишен кровеносных сосудов и нервов и поэтому является слоем неживой ткани. Толщина его на разных участках тела различна и колеблется в пределах 0,05-0,2 мм. Наибольшей толщины он достигает в местах, подвергающихся постоянным механическим воздействиям, в первую очередь на подошвах и ладонях, где, утолщаясь, он может образовывать мозоли.

Другие слои эпидермиса, лежащие под роговым слоем и образованные в основном из живых клеток, можно условно объединить в один так называемый

ростковый слой. В основании этого слоя непрерывно происходят деление и развитие новых живых клеток, а вверху – ороговение и отмирание клеток, которые при этом изменяют свою форму, уплотняются, пропитываются особым белковым веществом и становятся клетками рогового слоя, восполняя постоянно слущивающиеся с поверхности кожи мертвые клетки. Внутренний слой кожи (дерма) – состоит из прочных волокон соединительной и эластической ткани, переплетающихся между собой и образующих густую прочную сетку, которая и служит основой всей кожи. Между этими волокнами находятся кровеносные и лимфатические сосуды, нервные окончания и корни волос. Здесь же расположены потовые и сальные железы, выводные протоки которых выходят на поверхность кожи, пронизывая эпидермис. Дерма является живой тканью; электрическое сопротивление ее незначительно: оно во много раз меньше сопротивления рогового слоя.

Роговой слой обладает относительно высокой механической прочностью, плохо проводит тепло и электричество и является как бы защитной оболочкой, покрывающей все тело человека. В сухом и незагрязненном состоянии роговой слой можно рассматривать как диэлектрик, так как его объемное удельное сопротивление достигает 10^5 - 10^6 Ом·м, а сопротивление нижнего слоя кожи составляет всего 300-500 Ом. Суммарное сопротивление тела человека (наружное плюс внутреннее) при сухой, чистой и неповрежденной коже (измеренное при напряжении 15-20 В) колеблется от 3 до 100 кОм и более.

Внутреннее сопротивление тела считается активным. Его величина зависит от длины и поперечного размера участка тела, по которому проходит ток.

Наружное сопротивление тела можно представить в виде двух параллельно включенных сопротивлений: активного и емкостного. В практике обычно пренебрегают емкостным сопротивлением, которое незначительно, и считают сопротивление тела человека чисто активным и неизменным. В действительных условиях сопротивление тела человека не является постоянной величиной. Оно зависит от ряда факторов, в том числе от состояния кожи, состояния окружающей среды, параметров электрической цепи и др.

Таким образом, работа сырыми руками или в условиях, вызывающих увлажнение какого-либо из участков кожи создает предпосылки для тяжелого исхода в случае попадания человека под напряжение.

Повреждение рогового слоя (порезы, царапины, ссадины и др.) снижают сопротивление тела до 500-700 Ом, что увеличивает опасность поражения человека током. Такое же влияние оказывает увлажнение кожи водой или потом. Таким образом, работа с электроустановками влажными руками или в условиях, вызывающих увлажнение кожи, а также при повышенной температуре, вызывающей усиленное потовыделение, усугубляет опасность поражения человека током.

Загрязнения кожи вредными веществами, хорошо проводящими электрический ток (пыль, окалина и т. п.), приводят к снижению ее сопротивления.

Увлажнение кожи понижает ее сопротивление даже в том случае, если влага обладает большим удельным сопротивлением. Так, увлажнение сухих рук сильно подсоленной водой снижает сопротивление тела на 30-50%, а дистиллированной водой – на 15-35%. Объясняется это тем, что влага, по-

павшая на кожу, растворяет на ее поверхности минеральные вещества и жирные кислоты, выведенные из организма вместе с потом и кожным салом, и становится более электропроводной.

При длительном увлажнении кожи роговой слой ее разрыхляется, насыщается влагой, в результате чего его сопротивление почти полностью утрачивается.

Сопротивление кожи, а, следовательно, и тела в целом резко уменьшается при повреждении ее рогового слоя, наличии влаги на ее поверхности, интенсивном потовыделении и загрязнении.

Таким образом, токарь по металлу, шахтер и лица других специальностей, у которых руки загрязняются токопроводящими веществами, подвержены большей опасности поражения током, чем лица, работающие чистыми руками.

С ростом напряжения, приложенного к телу человека, сопротивление кожи уменьшается в десятки раз, приближаясь к сопротивлению внутренних тканей (300-500 Ом). Это объясняется электрическим пробоем рогового слоя кожи при напряжении около 50 В и выше, т. е. увеличением тока, проходящего через кожу.

С увеличением частоты тока сопротивление тела будет уменьшаться, и при 10-20 кГц наружный слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току.

К электротехническим характеристикам тела человека следует отнести его сопротивление, а также зависимость этого сопротивления от факторов окружающей среды, рода и частоты воздействующего тока, продолжительности приложения напряжения, схемы прохождения тока через тело человека.

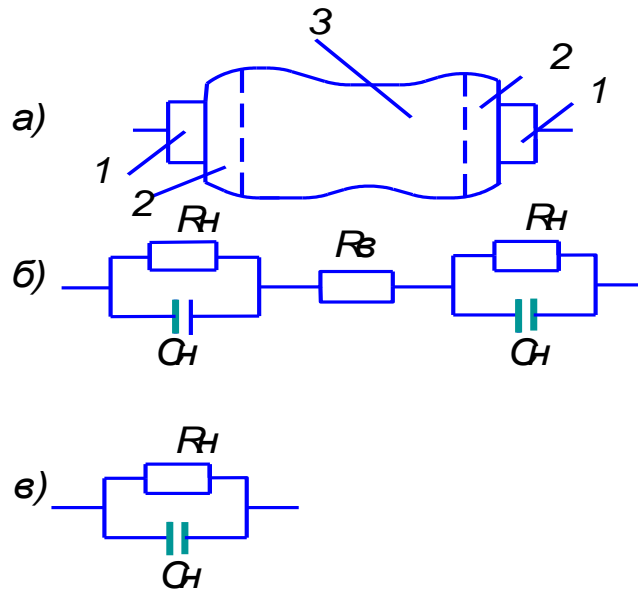
Перечисленные параметры исследуются методом амперметра-вольтметра, причем человек (его тело) является элементом экспериментальной установки. На характеристики тела человека оказывают влияние форма электрода, усилие нажатия на него и ряд других факторов.

Сопротивление тела человека, измеренное при напряжении 2,4-4,0 В переменного синусоидального тока частотой 50 Гц по пути рука-рука, составляет 40-200 кОм. Считается, что это сопротивление складывается из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи (эпидермиса), которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека, и одного называемого внутренним сопротивлением тела, которое включает сопротивление внутреннего слоя (дермы) и внутренних тканей тела (рисунок 2).

Сопротивление эпидермиса состоит из активного R_H емкостного C_H сопротивлений, включенных параллельно. Емкостное сопротивление обусловлено тем, что в месте прикосновения электрода к телу человека образуется как бы конденсатор, обкладками которого является электрод и хорошо проводящие ток ткани тела человека, лежащие под наружным слоем кожи, а диэлектриком, разделяющим обкладки – этот слой (эпидермис) (рисунок 2, а).

Емкостное сопротивление обусловлено тем, что в месте прикосновения электрода к телу человека образуется конденсатор, обкладками которого являются электрод и хорошо проводящие ток ткани тела человека, лежащие под наружным слоем кожи, а диэлектриком – этот слой (эпидермис). Считается, что

это плоский конденсатор, емкость которого зависит от площади электрода S , m^2 , толщины эпидермиса d , m , и его электрической проницаемости ϵ , которая в свою очередь зависит от многих факторов: частоты приложенного напряжения, температуры кожи, наличия в коже влаги и др. При токе $f = 50$ Гц значения ϵ находятся в пределах 100-200 Ф/м.



a – схема измерения сопротивления; *б* – эквивалентная электрическая схема; *в* – упрощенная электрическая схема; 1 – электроды; 2 – эпидермис; 3 – внутренние ткани тела; R_n – активное сопротивление наружного слоя кожи; C_n – емкость конденсатора, образовавшегося в месте контакта с электродами; R_B – внутреннее сопротивление тела; R_h – активное сопротивление тела; C_h – емкость тела

Рисунок 2 – Сопротивление тела человека

Емкость конденсатора, Ф:

$$C_H = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (1)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Активное сопротивление эпидермиса R_H , Ом зависит от его удельного сопротивления ρ_n , значения которого находятся в пределах 10^4 - 10^5 Ом·м, а также от S и d :

$$R_H = \frac{\rho_n \cdot d}{S}. \quad (2)$$

Полное сопротивление наружного слоя кожи Z_h при площади контактов в несколько квадратных сантиметров достигает весьма больших значений (десятков и сотен тысяч Ом).

Внутреннее сопротивление тела считается чисто активным, хотя, строго говоря, оно также обладает емкостной составляющей.

Живую клетку можно представить себе как оболочку с весьма малой проводимостью, заполненную жидкостью, хорошо проводящей ток. Эта клетка окружена такой же жидкостью. Очевидно, что в этом случае образует-

ся элементарный конденсатор, который и обуславливает емкостную проводимость клетки. Однако эта проводимость оказывается незначительной по сравнению с довольно большой ионной проводимостью клетки, и ею без особой погрешности можно пренебречь.

Значение внутреннего сопротивления R_B , Ом, зависит от длины и поперечного сечения участка тела, по которому проходит ток, а также от удельного объемного сопротивления внутренних тканей организма ρ_B , усредненное значение которого при токе с частотой до 1000 Гц составляет 1,5-2,0 Ом·м. Внутреннее сопротивление R_B практически не зависит от площади электродов, частоты тока, а также от значения приложенного напряжения и равно примерно 500-700 Ом.

Эквивалентная схема сопротивления тела человека для рассмотренных условий показана на рисунке 2,б.

На основании этой эквивалентной схемы сопротивления тела человека можно написать выражение полного сопротивления тела человека в комплексной форме, Ом:

$$Z_h = 2Z_H + R_B = \frac{2}{\frac{1}{R_H} + j\omega C_H} + R_B \quad (3)$$

или после соответствующих преобразований — в действительной форме, Ом,

$$Z_h = \sqrt{\frac{4R_H(R_H + R_B)}{1 + R_H^2 \cdot \omega^2 \cdot C_H^2}} + R_B, \quad (4)$$

где Z_h — сопротивление наружного слоя кожи в комплексной форме, Ом;

$\omega = 2\pi f$ — угловая скорость, рад/с; f — частота тока, Гц.

Эту схему можно упростить, представив сопротивление тела человека как параллельное соединение сопротивления $R_h = 2R_H + R_B$ и емкости $C_h \approx 0,5C_H$ ¹, которые назовем соответственно активным сопротивлением и емкостью тела человека (рисунок 2,в). В этом случае выражение полного сопротивления тела человека в действительной форме будет, Ом:

$$Z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot C_h^2 \cdot R_h^2}}. \quad (5)$$

Из выражений (3) и (4) видно, что при малой емкости (когда ее можно принять равной нулю) полное сопротивление тела человека оказывается равным сумме активных сопротивлений обоих слоев эпидермиса и внутреннего сопротивления тела, т. е., Ом:

$$Z_h = 2R_H + R_B = R_h. \quad (6)$$

Значение внутреннего сопротивления зависит от длины и поперечного сечения участка тела, по которому проходит ток, а также от удельного сопротивления внутренних тканей организма ρ_B , усредненное значение которого при токе частотой до 1000 Гц составляет 1,5-2 Ом·м. Значение R_B практически не за-

¹ Приравняв (3) и (4), можно получить значение C_h , выраженное через C_H . При этом C_h оказывается несколько меньше $0,5 C_H$. Если же принять $R_B = 0$, то получим, что $C_h \approx 0,5 C_H$.

висит от площади электродов, частоты тока и равна примерно 500-700 Ом.

Сопротивление внутренних тканей тела R_B считается чисто активным, хотя, строго говоря, оно также обладает емкостной составляющей. Емкость внутренних тканей тела человека очень мала, емкостное сопротивление тела человека более чем на порядок меньше активного, поэтому в схеме замещения его не учитывают.

Опыты показывают, что сопротивление тела человека постоянному току больше, чем переменному любой частоты. Это подтверждается также выражениями (3) и (4): при $f = 0$ сопротивление имеет наибольшее значение ($Z_h = 2R_n + R_B = R_h$); с ростом частоты Z_h уменьшается (за счет уменьшения емкостного сопротивления) и в пределе, когда $f = \infty$, становится согласно (1-3) равным внутреннему сопротивлению тела R_B . Разница в значениях сопротивлений постоянному и переменному токам особенно велика при малых напряжениях: до 5—10 В. С ростом приложенного напряжения эта разница уменьшается и, начиная с 40—50 В сопротивление тела человека как постоянному, так и переменному току промышленной частоты становится практически одинаковым.

На рисунке 3 приведена кривая зависимости полного сопротивления тела человека Z_h , и тока I_h , проходящего через него, от частоты приложенного напряжения. Измерения проводились по пути рука — рука с помощью цилиндрических электродов диаметром 40 мм при неизменном напряжении 5 В, 50 Гц.

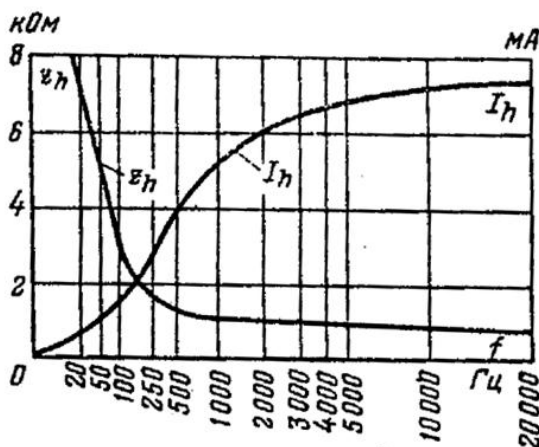


Рисунок 3 – Зависимость полного сопротивления тела человека Z_h и тока, проходящего через него, I_h от частоты приложенного напряжения

Площадь электродов S оказывает непосредственное влияние на полное сопротивление тела человека: чем больше S , тем меньше Z_h . Рисунок 4 подтверждает эту зависимость. Вместе с тем он показывает, что с ростом частоты зависимость Z_h от S уменьшается и при 10-20 кГц влияние площади электродов утрачивается полностью.

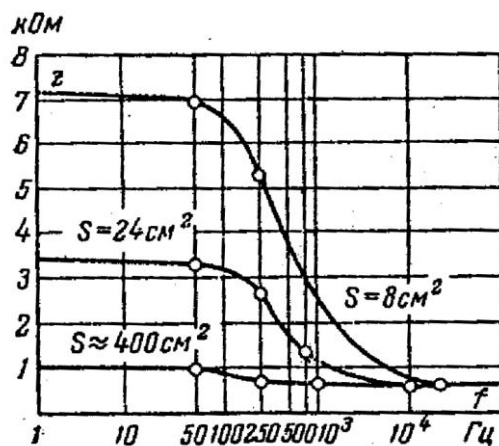


Рисунок 4 – Зависимость полного сопротивления тела человека на участке рука-рука от частоты приложенного напряжения и площади электродов (по А.П. Киселеву)

Это следует и из уравнения (3). Так, если в это уравнение подставить значения C_n и R_n из (1) и (2), то мы получим выражение, определяющее зависимость Z_h от S :

$$Z_h = \sqrt{\frac{4\rho_H d (\rho_H d + SR_B)}{S^2(1 + \rho_H^2 \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2)} + R_B^2} \quad (7)$$

или, если принять $R_B = 0$,

$$Z_h = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{2\rho_H d}{(1 + \rho_H^2 \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2)}} \quad (8)$$

Из (7) видно также, что при больших частотах, например 10-20 кГц, первое слагаемое под корнем приобретает значение, близкое к нулю, а Z_h становится равным R_B .

Длительность протекания тока заметно влияет на сопротивление кожи, а следовательно, на Z_h в целом за счет усиления со временем кровоснабжения участков кожи под электродами, потовыделения и т. п. опыты показывают, что при небольших напряжениях (до 20-30 В) за 1-2 мин сопротивление понижается обычно на 10-40% (в среднем на 25%), а иногда и больше.

При увеличении напряжения, а, следовательно, при росте тока сопротивление тела снижается быстрее, что объясняется, по-видимому, более интенсивным воздействием на кожу тока большего значения.

На сопротивление тела оказывает влияние площадь контактов, а также место касания, так как у одного и того же человека сопротивление кожи неодинаково на разных участках тела. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи, рук на участке выше ладоней и, в особенности, на стороне, обращенной к туловищу, подмышечных впадинах, тыльной стороны кисти и др. Кожа ладоней и подошв имеет сопротивление во много раз превышающее сопротивление кожи других участков тела.

Разница в значениях сопротивления кожи на разных участках тела объясняется рядом факторов, в том числе:

- различной толщиной рогового слоя кожи;
- неравномерным распределением потовых желез на поверхности тела;
- неодинаковой степенью наполнения кровью сосудов кожи.

Увеличение тока, проходящего через тело человека, сопровождается усилением местного нагрева кожи и раздражающего действия на ткани. Это, в свою очередь, вызывает рефлекторно, т. е. через центральную нервную систему, быструю ответную реакцию организма в виде расширения сосудов кожи, а, следовательно, усиление снабжения ее кровью и повышение потовыделения, что и приводит к снижению электрического сопротивления кожи в этом месте.

Повышение напряжения, приложенного к телу человека $U_{пр}$, вызывает уменьшение в десятки раз его полного сопротивления Z_h , которое в пределе приближается к наименьшему значению сопротивления подкожных тканей тела (примерно 500 Ом). Многочисленные опыты подтверждают характер этой зависимости, хотя значения сопротивлений, полученные при замерах разными авторами, обычно сильно различаются. Объясняется это, главным образом, разными условиями опытов (которые производились с животными, трупами людей и лишь в пределах безопасных токов – с живыми людьми), а также индивидуальными особенностями испытуемых.

Длительность протекания тока заметно влияет на сопротивление кожи, а, следовательно, на Z_h в целом, вследствие усиления с течением времени кровоснабжения участков кожи под электродами, потовыделения и т. п. Опыты свидетельствуют, что при небольших величинах напряжения (от 20 до 30 В) за 1 – 2 мин сопротивление понижается обычно на 10-40% (в среднем – на 25%).

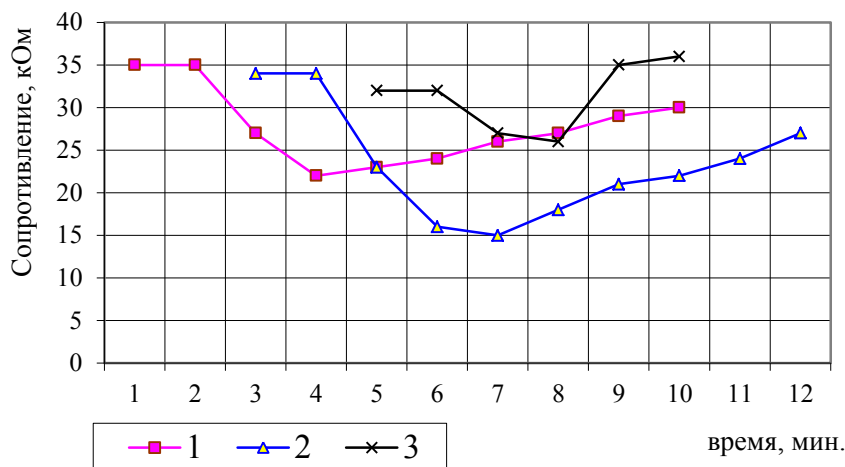
При воздействии электрического тока на организм человека через 2-3 минуты происходит пробой рогового слоя при напряжении 40 В и частоте приложенного напряжения 50 Гц и 60 В. Пробой рогового слоя сопровождается резким увеличением тока и усилением ощущений в месте пробоя. Пораженный участок (электрометки диаметром 0,5-1 мм) заживает в течение двух-трех недель.

Замеры, произведенные в США во время одной казни на электрическом стуле, показали, что сопротивление тела человека, равное 800 Ом в момент включения напряжения 1600 В, через 50 с снизилось до 517 Ом, т. е. на 35%.

На значение Z_h , кроме рассмотренных факторов, влияют и другие факторы, хотя и в значительно меньшей степени.

Физические раздражения, возникающие неожиданно для человека – болевые (уколы и удары), звуковые, световые и прочие – могут вызвать на несколько минут снижение сопротивления тела на 20-50% (рисунок 5).

Уменьшение или увеличение парциального давления кислорода в воздухе по сравнению с нормой соответственно снижает или повышает сопротивление тела человека. Следовательно, в закрытых помещениях, где парциальное давление кислорода, как правило, меньше, опасность поражения током при прочих равных условиях выше, чем на открытом воздухе.



1 – укол; 2 – неожиданный звук; 3 – легкий удар по руке

Рисунок 5 – Изменение электрического сопротивления тела человека в зависимости от вида раздражителя

Повышенная температура окружающего воздуха (30-45° С), или тепловое облучение человека, вызывает некоторое понижение Z_h , даже если человек в этих условиях находится кратковременно (несколько минут) и у него не наблюдается усиления потовыделения. Одной из причин этого может быть усиленное снабжение сосудов кожи кровью в результате их расширения, что является ответной реакцией организма на тепловое воздействие.

На рисунке 6 представлена обобщенная схема замещения сопротивления человека.

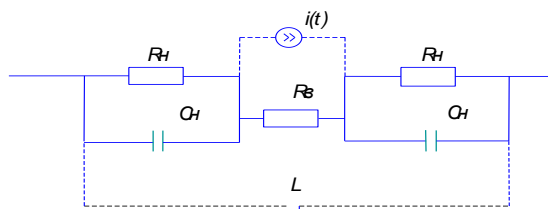


Рисунок 6 – Обобщенная схема замещения тела человека

Таким образом, на исход электропоражения влияет ряд факторов: величина приложенного напряжения, место приложения, род протекающего через тело человека тока, частота тока (для переменного тока), полярность (для постоянного тока), факторы неэлектрического характера: температура, давление, влажность, индивидуальные особенности человека и условия его работы. Все эти факторы исследовать в одной лабораторной работе не представляется возможным. При постоянстве приложенного напряжения на исход электропоражения будет влиять прежде всего сопротивление тела человека, которое, в свою очередь, зависит от частоты приложенного напряжения, состояния человека (кожи) и площади касания. Эти зависимости и будут исследованы в данной лабораторной работе.

Для определения изменений в состоянии человека необходимо измерить его пульс и кровяное давление. Умножение значений этих параметров лежат в основе способа, характеризующего состояние человека при нагрузке. Данный способ называется *двойное произведение*.

2 Описание приборов

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы:

- устройство для исследования сопротивления тела человека;
- комплект для измерения артериального давления (тонометр медицинский и фонендоскоп);
- секундомер (часы с секундной стрелкой).

Устройство для исследования сопротивления тела человека [блок 341 из комплекса типового лабораторного оборудования «Основы электробезопасности» (далее – устройство)] предназначено для определения сопротивления тела человека методом амперметра-вольтметра при различных значениях приложенного напряжения и частоты последнего, а также различной площади контактной поверхности. Устройство допускает работу при температурах от +10 до +35°C и относительной влажности воздуха до 80% при 25°C.

Устройство и принцип работы. Конструктивно устройство выполнено в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели нанесена мнемосхема электрическая соединений устройства и в соответствии с ней размещены контактные электроды, кнопки управления и трехсегментные индикаторы для отображения контролируемых параметров.

Устройство для исследования сопротивления тела человека смонтировано в виде портативного переносного устройства. Генератор синусоидального напряжения позволяет задавать напряжение (U) в пределах 0-7 В и частоту (f) в диапазоне 2-20000 Гц. Имеется индикатор, с которого считывается величина тока I_b , протекающего через тело человека. На панели устройства также установлены металлические электроды дисковой формы, разной площади соприкосновения: два электрода площадью 1250 мм² и два электрода площадью 2500 мм².

Технические характеристики устройства

1	Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником	220±22
	- напряжение, В	50±0,5
	- частота, Гц	
2	Потребляемая мощность, В·А, не более	20
3	Номинальное выходное напряжение, В	0...7
4	Максимальный выходной ток, мА	20
5	Частота выходного напряжения, Гц	2...200000
6	Площадь контактной поверхности, мм ²	1250, 2500
7	Класс защиты от поражения электрическим током	I
8	Габаритные размеры, мм, не более:	
	- ширина	285
	- высота	297
	- глубина	200
9	Масса, кг, не более	3,5

Работа устройства основана на измерении тока, протекающего через человека при приложении к нему заданного напряжения установленной частоты.

Измеритель артериального давления состоит из тонометра медицинского и фонендоскопа. Тонометр медицинский (рисунок 7) предназначен для измерения верхнего (систолического) и нижнего (диастолического) артериальных давлений крови у человека косвенным методом Короткова. Этот прибор измеряет артериальное давление, служит для контроля состояния здоровья. Фонендоскоп (рисунок 8) предназначен для прослушивания внутренних звуков (шумов) тела человека. Кровь при протекании по артериям (пульсации сердечной мышцы) также создает звуки.



1 – пневмокамера, 2 – металлический aneroidный манометр,
3 –нагнетатель (груша), 4 – воздушный игольчатый клапан

Рисунок 7 – Тонометр

Основные технические характеристики тонометра

Тонометр предназначен для работы при температуре окружающего воздуха,
 °Сот 10 до 40
 Диапазон измерений давления тонометра, мм. рт. ст.от 0 до 300
 кПа.....от 0 до 40
 Цена деления шкалы манометра, мм рт. ст.....2
 кПа.....0,2
 Предел допускаемой основной погрешности тонометра
 мм рт. ст..... ±3
 кПа.....±0,4




1 – оливки ушные, 2 – металлическое оголовье, 3 – акустические проводники (фторопластовые трубки), 4 – датчик с чувствительной мембраной

Рисунок 8 – Фонендоскоп

Секундомер предназначен для измерения определенных промежутков времени.

3 Меры безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдать следующие правила:

- 5.1 К работе с устройством допускаются лица, ознакомленные с его конструкцией, принципом работы и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
- 5.2 Запрещается эксплуатация устройства при снятом кожухе.
- 5.3 Без разрешения преподавателя к работе не приступать.
- 5.4 Перед эксплуатацией устройства соедините гнездо защитного заземления, обозначенное символом , на корпусе прибора, к заземляющей шине.
- 5.5 Подача напряжения на установку производится только преподавателем, ведущим занятие.
- 5.6 Все переключения и снятие экспериментальных данных производить с разрешения и под наблюдением преподавателя.
- 5.7 Менять положение переключателя «множитель частоты» только при отключении испытуемого от электрической цепи (снятии рук с электродов).
- 5.8 При возникновении обстоятельств, препятствующих снятию данных (внезапное отключение питающего напряжения, прекращение работы индикатора, с которого считывается величина тока I_h , протекающего через тело человека и т. д.), необходимо отключить прибор от сети и сообщить о случившемся преподавателю, ведущему лабораторное занятие.
- 5.9 При работе с тонометром не создавать давление в пневмокамере, создающее дискомфорт у испытуемого или приводящее к разрыву стенок пневмокамеры (более 220 мм рт. ст.).
- 5.10 При работе с фонендоскопом избегать случайного касания мембраны и ударов по ней острыми кромками, чтобы не повредить мембрану и не создавать высокого уровня звука на барабанную перепонку уха испытуемого, перед работой протереть оливы оголовья дезраствором (спиртовым раствором).
- 5.11 По окончании работы вначале отключить прибор от сети (видимый разрыв), а затем отсоединить заземляющий проводник.

4 Методика проведения измерений

Определение пульса. В основе регистрации пульса лежит пальпаторный метод. Он заключается в прощупывании и подсчете пульсовых волн. Обычно принято определять пульс на лучевой артерии у основания большого пальца, для чего второй, третий и четвертый пальцы накладываются несколько выше лучезапястного сустава, нащупывают артерию и прижимают ее к кости. Пульсация кровяного давления определяется на основании тактильных ощущений. Для более точного определения пульса применяют фонендоскоп, при этом датчик с чувствительной мембраной накладывается на измеряемую точку, а оливы ушные устанавливаем в ушные раковины (рабочее положение фонендоскопа).

В состоянии покоя пульс можно считать в течение 10-, 15-, 30- или 60-секундных интервалов. После физической нагрузки пульс считают 10-секундными интервалами.

Частота пульса в возрасте 15-20 лет в норме составляет 60-90 ударов в минуту. В положении лежа пульс в среднем на 10 ударов в минуту меньше, чем в положении стоя. У женщин пульс на 7-10 ударов в минуту чаще, чем у мужчин того же возраста. Частота пульса во время работы в пределах 100-130 ударов в минуту свидетельствует о небольшой интенсивности нагрузки. Частота 130-150 ударов в минуту характеризует нагрузку средней интенсивности. Частота 150-170 ударов в минуту – нагрузку выше средней интенсивности. Частота 170-200 ударов в минуту свойственна предельной нагрузке.

Необходимо оберегать датчик с чувствительной мембраной от ударов, т. к. от этого возможен прорыв мембраны, а в ушных раковинах (при рабочем положении фонендоскопа) в это время раздается очень громкий звук, вызывая болевые ощущения на барабанной перепонке исследователя.

Определение артериального давления. Измерение начинается с того, что вставляется в уши оливы фонендоскопа. Левая рука пациента кладется на стол. Проверяется, чтобы в манжете не было воздуха (отвинчивается воздушный клапан на груше), и надевается на предплечье левой руки, сантиметров на 5-7 выше локтевого сгиба, трубками вниз (предварительно обнажив левую руку). Она должна облегать руку ровно, плотно, но не туго. После этого закрывается воздушный клапан на груше. Манометр размещается так, чтобы движение стрелки было видно отчетливо (в начале измерения она должна указывать на ноль). Левая рука испытуемого разогнута и под локоть подставляется ладонь правой руки.

Закрепляется фиксатор (воздушный клапан) резиновой груши и правой рукой равномерно нагнетается воздух в манжету. При этом стрелка манометра начнет двигаться по часовой стрелке. Доводится давление до показания 200 или 220 как точку старта измерений. Сдавленное манжетой предплечье может вызвать не очень комфортные ощущения, необходимо быть готовым к этому состоянию. Резиновая груша переключается в левую руку, а правой прижимается мембрана фонендоскопа к внутренней стороне локтевого сгиба – там нужно слушать пульс.

Слушаем пульс, следим за стрелкой манометра и постепенно (не более 1 деления в 1 сек) отпускаем фиксатор воздуха на груше: стрелка движется в обратную сторону, воздух из манжетки медленно выпускается, и прослушиваются тоны (удары) сердца. Необходимо отметить положение стрелки во время первого отчетливого звука удара пульса и запомнить числовой показатель. В момент первого отчетливого звука удара пульса стрелка на шкале прибора показывает величину систолического давления (так как в этот момент только во время систолы левого желудочка кровь проталкивается через сдавленный участок артерии). Экспериментатор записывает величину давления. Постепенно звуковой сигнал будет ослабевать и исчезнет. В этот момент на шкале нужно отметить величину диастолического давления. Экспериментатор фиксирует и эту величину. Скажем, первое давление равно 120, второе – 80. Это и есть артериальное давление. В амбулаторной карте врач его записал бы так: АД=120/80

мм рт. ст. (то есть миллиметров ртутного столба). Первый показатель называется систолическое давление, второй – диастолическое.

Систолическое давление – это давление крови в тот момент, когда под влиянием работы сердечной мышцы кровь ударяет в стенки в артерий. А диастолическое – в момент расслабления сердца (кровь снова поступает в его полости).

Для получения более точных результатов измерения следует повторить несколько раз, пока показания тонометра не будут отличаться на 5 мм рт. ст.

Двойное произведение (ДП) – это частота пульса в 1 минуту, помноженное на величину верхнего (систолического) артериального давления и разделенная на 100. Чем выше пульс и давление, тем выше будет ДП. Допустим, на высоте нагрузки артериальное давление достигло 180/100, а пульс – 120 в 1 минуту, тогда ДП будет равно 216. Этот показатель разрабатывался для лечебно-диагностических целей, поэтому единого мнения о нормальных значениях ДП у здоровых людей и в процессе реальных тренировок нет. Принято считать, что для здорового человека ДП должно быть в пределах 250-300. Однако не следует забывать того, что этот показатель индивидуален для каждого человека и основное значение имеет его динамика – рост или снижение.


Измерение сопротивления тела человека. Измерение проводится для спокойного состояния организма человека и состояния, возбужденного физической нагрузкой. Спокойным считается состояние при чтении, математических расчетах и т. д. (т. е. легкой степени физической работы). Возбужденным считается состояние тела после выполнения физических упражнений, которые, как правило, сопровождаются учащением дыхания, сердцебиения, выделением пота и т. д.

Значения напряжения и частоты задаются с помощью кнопок «<>» и «>» «Задания U/f». Значения частоты устанавливаются с помощью кнопок «<>» и «>» «Выбор диапазона f» при горящем светодиоде «Частота f». Значения напряжения устанавливаются с помощью кнопок «<>» и «>» «Выбор U/f» при горящем светодиоде «Напряжение U = 0...7 В». Перед нажатием на кнопку «Выбор диапазона f» испытуемый должен отпустить электроды. В процессе снятия характеристик напряжение автоматически поддерживается постоянным.

В лабораторной работе в качестве физической нагрузки используется количество приседаний испытуемого: при возрасте испытуемого от 16 до 25 лет – 50 приседаний, от 26 до 45 лет – 30 приседаний, свыше 46 лет – 25 приседаний.

В начале выполнения работы выполняются измерения в спокойном состоянии, затем производятся упражнения и после их окончания снова проводятся измерения (не позднее одной минуты после исполнения упражнений).

5 Порядок выполнения работы

- 5.1 Изучить содержание 1, 2, 3 и 4 разделов настоящих методических указаний.
- 5.2 Изучить расположение органов управления устройства для исследования сопротивления тела человека (блок 341).
- 5.3 Подсоединить блок 341 к контуру защитного заземления (подсоединить клемму защитного заземления на блоке, обозначенную символом  , к заземляющей шине).

- 5.4 Подключить устройство к сети 220 В при помощи сетевого шнура.
- 5.5 Включить на устройстве переключатель «Сеть» (световая сигнализация укажет на то, что устройство включено).
- 5.6 Заполнить экспериментальными данными таблицу А1 приложения А. Для этого снимать показания по следующей схеме:
 - 5.6.1 Нажать на устройстве кнопку «Выбор U/f». Загорится светодиод «Напряжение $U=0...7$ В».
 - 5.6.2 С помощью кнопок «<» и «>» «Задание U/f» установить напряжение, равное 1,0 В.
 - 5.6.3 Нажать на устройстве кнопку «Выбор U/f». Загорится светодиод «Частота f».
 - 5.6.4 С помощью кнопки «Выбор диапазона f» установить диапазон «2...20 Гц» (загорится соответствующий светодиод).
 - 5.6.5 С помощью кнопок «<» и «>» «Задания U/f» установить частоту, равную 2Гц.
 - 5.6.6 Один из студентов плотно охватывает электроды $S=1250$ мм² руками.
 - 5.6.7 Снять зависимости $Z_h=I(f)$. Данные занести в таблицу А1.
 - 5.6.8 Тот же студент плотно охватывает электроды $S=2500$ мм² руками, с тем же усилием, что и в п. 3.10.
 - 5.6.9 Снять зависимости $Z_h=I(f)$. Данные занести в таблицу А1 Приложения А.
 - 5.6.10 С помощью кнопок «<» и «>» «Задания U/f» установить напряжение, большее установленного в п. 3.6 на 2 В.
 - 5.6.11 Повторить измерения в соответствии с пп. 5.6.1-5.6.10.
 - 5.6.12 По достижении напряжения величиной 7 В, завершить измерения.
- 5.7 Снять показания артериального давления и пульса, рассчитать двойное произведение.
- 5.8 Выполнить упражнения физической нагрузки для создания возбужденного состояния испытуемого.
- 5.9 Снять показания в соответствии с пп. 5.6.1-5.6.12. Начало снятия показаний начинать не позже 1 мин по окончании упражнений.
- 5.10 Привести лабораторную установку в исходное состояние.
- 5.11 Произвести обработку результатов измерений, рассчитав полное сопротивление тела человека по формуле (7), приняв значения $\rho_n = 10^4-10^5$ Ом·м, $d = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м, $S = 1,25 \cdot 10^{-3}$ м² ($2,5 \cdot 10^{-3}$ м²), $R_B = 500-700$ Ом, $\omega = 2\pi f$ (f – частота тока, Гц), $\varepsilon = 100-200$ Ф/м, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, значения полного сопротивления записать в таблицу А2 приложения А. Вычисления допускается производить на компьютере.
- 5.12 Результаты вычислений Z_h изобразить в виде графиков $Z_h = f(f)$, кОм.
- 5.13 После проведения опытов рассчитать электрическое сопротивление тела человека $Z_h = U/I$, кОм (таблица А3 Приложения А) и построить графики зависимостей $Z_h = f(f)$ при значениях площади электродов $S=1,25 \cdot 10^{-3}$ м² и $S=2,5 \cdot 10^{-3}$ м² (рисунок А1).

6 Контрольные вопросы

- 1 Что понимается под электрическим сопротивлением тела человека? Что относится к электротехническим характеристикам тела человека?
- 2 Обоснуйте наличие каждого из элементов в схеме замещения (рисунок 2а).
- 3 Какие пути протекания тока через тело человека вы знаете? Какие из них наиболее опасные?
- 4 Какие факторы влияют на сопротивление тела человека?
- 5 Какой метод исследования электротехнических характеристик тела человека применяется в данной лабораторной работе?
- 6 Назовите принцип действия экспериментальной установки по названному методу (блок 341 из комплекта типового лабораторного оборудования «Основы электробезопасности»).
- 7 Какими приборами измеряют параметры физиологического состояния человека?
- 8 Опишите устройство и принцип действия тонометра медицинского и фонендоскопа.
- 9 Методики определения пульса и артериального давления человека.
- 10 Охарактеризуйте зависимость сопротивления тела человека от площади приложенных электродов, величины приложенного напряжения и его частоты.
- 11 Что произойдет с человеком, если величина приложенного напряжения составит 50 В?
- 12 Как изменится сопротивление тела человека в помещении с повышенной температурой воздуха и влажностью? В связи с чем произойдут изменения?
- 13 Почему сопротивление тела человека существенно отличается у каждого из участвующих в лабораторных исследованиях?
- 14 Какие мероприятия вы можете предложить руководителю предприятия/организации для предотвращения несчастных случаев при работе с электроустановками в рамках рассмотренной темы лабораторной работы?

Список литературы

- 1 Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
- 2 Сидоров А. И. Основы электробезопасности в электроустановках : учебное пособие. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 344 с.
- 3 Сидоров А. И., Бухтояров В. Ф. Безопасность жизнедеятельности. Конспект лекций. – Челябинск : ЧГТУ, 1996. – Часть V. – 89 с.
- 4 Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. – Ленинград : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.: ил.
- 5 Кацай В. В. Влияние шума электрооборудования на электротехнические характеристики тела человека: дис. канд. техн. наук / В. В. Кацай. – Челябинск, 2007. – 104 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Форма отчета)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

_____ индекс группы

Студент _____
Фамилия, И.О.

Преподаватель _____
Фамилия, И.О.

Курган (год)

Цель и задачи данной работы _____

Данные в спокойном состоянии испытуемого:

АД = мм рт. ст., пульс 1/мин, ДП =

Данные после нагрузки испытуемого:

АД = мм рт. ст., пульс 1/мин, ДП =

Таблица А1 – Величина тока через тело человека, мА

Напря- жение U, В	Частота сигнала, Гц																
	2	8	10	50	100	200	300	400	500	1000	1500	2000	5000	10000	20000	100000	200000
	$S = 1250 \text{ мм}^2$																
1																	
3																	
5																	
7																	
	$S = 2500 \text{ мм}^2$																
1																	
3																	
5																	
7																	

Примечание: в числителе пишется показания в спокойном состоянии испытуемого, в знаменателе – после нагрузки испытуемого.

$$z_h = \sqrt{\frac{4\rho_H d (\rho_H d + SR_B)}{S^2 (1 + \rho_H^2 \omega^2 \epsilon^2 \epsilon_0^2)}} + R_B^2$$

Таблица А2 – Сопротивление тела человека Z_h , кОм

Напря- жение U, В	Частота сигнала, Гц																
	2	8	10	50	100	200	300	400	500	1000	1500	2000	5000	10000	20000	100000	200000
	$S = 1250 \text{ мм}^2$																
1																	
3																	
5																	
7																	

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А2

Сред- нее значе- ние																	
	$S = 2500 \text{ мм}^2$																
1																	
3																	
5																	
7																	
Сред- нее значе- ние																	
<i>Примечание:</i> в числителе пишется показания в спокойном состоянии испытуемого, в знамена- теле – после нагрузки испытуемого.																	

Таблица А3 – Сопротивление тела человека Z_h , кОм ($Z_h = U/I$, кОм)

Напря- жение U, В	Частота сигнала, Гц																
	2	8	10	50	100	200	300	400	500	1000	1500	2000	5000	10000	20000	100000	200000
	$S = 1250 \text{ мм}^2$																
1																	
3																	
5																	
7																	
Ср. значе- ние																	
	$S = 2500 \text{ мм}^2$																
1																	
3																	
5																	
7																	

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А3

Ср. значение																	

Примечание: в числителе пишется показания в спокойном состоянии испытуемого, в знаменателе – после нагрузки испытуемого.



Рисунок А1 – График зависимости сопротивления тела человека от частоты тока

Привести характеристику условий среды, в которых производились замеры сопротивления тела человека:

Атмосферное давление _____ мм рт ст.

Температура воздуха _____ °С

Относительная влажность воздуха _____, %

Время года _____

Сделать вывод о полученных результатах.

Алексей Иванович Микуров

Нина Калиновна Смирнова

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
для студентов направлений 13.03.02, 15.03.04, 20.03.01, 27.03.04

Редактор Л.С. Иванова

Подписано в печать 27.11.18	Формат 60x84 1/16	Бумага 65г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,75	Уч.-изд. л. 1,75
Заказ №212	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.