

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

ЦЕЛЬ

Изучить основные факторы, влияющие на тяжесть поражения человека электрическим током. Исследовать сопротивление тела человека в зависимости от площади контакта при различной частоте электрического тока.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электрическое сопротивление тела человека

Тело человека является проводником электрического тока. Проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только ее физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, присущими лишь живой материи. Следовательно, сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг – малое сопротивление. Например, удельное сопротивление сухой кожи составляет $3 \times 10^3 - 2 \times 10^4$ Ом м, а крови 1 – 2 Ом м.

Из этих данных следует, что кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

Сопротивление тела человека можно условно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи (эпидермиса), которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека), и внутреннего сопротивления тела $R_{в}$.

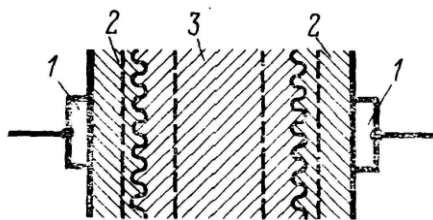


Рис. 9.1. К определению сопротивления тела человека: 1 – электроды; 2 – наружный слой кожи – эпидермис (роговой и ростковый слой); 3 – внутренние ткани тела (включая внутренний слой кожи – дерму).

Сопротивление наружного слоя кожи z состоит из активного и емкостного сопротивлений, включенных параллельно. Внутреннее сопротивление тела считается чисто активным, хотя, строго говоря, оно также обладает емкостной составляющей. Внутреннее сопротивление R_B практически не зависит от площади электродов, частоты тока, а также от значения приложенного напряжения.

Эквивалентная схема сопротивления тела человека для рассмотренных условий показана на рис. 9.2.

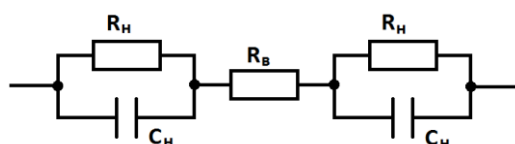


Рис. 9.2. Эквивалентная схема замещения сопротивления тела человека.

На основании этой схемы выражение для определения полного сопротивления тела человека в комплексной форме Z_h , Ом, имеет вид

$$Z_h = 2Z_H + R_B = \frac{2}{\frac{1}{R_H} + j\omega C_H} + R_B. \quad (0.1)$$

В целом, значение полного сопротивления тела человека зависит от ряда факторов: *состояния кожи, параметров электрической цепи, места приложения электродов к телу человека, значений тока, приложенного напряжения, рода и частоты тока, площади электродов, длительности воздействия, физиологических факторов окружающей среды.*

Расчетное электрическое сопротивление тела человека переменному току частотой 50 Гц при анализе опасности поражения человека током принимается равным 1 кОм.

Виды электротравм

Большинство специалистов и исследователей в области электробезопасности указывают на следующие действия, которые производит электрический ток, проходя через организм человека:

термическое действие – проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высоких температур внутренних тканей человека, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства;

электролитическое действие – проявляется в разложении органической жидкости, в том числе и крови, что вызывает значительные нарушения их физико-химического состава;

механическое действие – приводит к разрыву тканей и переломам костей;

биологическое действие – проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей в организме, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, присущих нормально действующему организму; с биологической точки зрения исход поражения человека электрическим током может быть следствием тех физиологических реакций, которыми ткани отвечают на протекание через них электрического тока. Проходя через организм, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действия. Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей. Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физико-химических составов. Биологическое действие выражается в возбуждении живых тканей организма (что сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц), а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения. Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих тканей.

Исход воздействия тока зависит от множества факторов, в том числе от значения и длительности протекания через тело человека тока, рода и частоты тока и индивидуальных свойств человека. Электрическое сопротивление тела человека и приложенное к нему

напряжение влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значение тока, проходящего через тело человека.

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 нижних слоев кожи и внутренних тканей человека незначительно. При сухой чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека колеблется в пределах 2 кОм – 2 МОм. При увлажнении и загрязнении кожи, а также при повреждении кожи (под контактами) сопротивление тела оказывается наименьшим – около 500 Ом, т. е. доходит до значения, равного сопротивлению внутренних тканей тела. При расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1 кОм.

Значение тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше ток, тем опаснее его действие. Человек начинает ощущать протекающий через него ток промышленной частоты (50 Гц) относительно малого значения: 0,6–1,5 мА. Этот ток называется пороговым ощутимым током.

Ток 10–15 мА (при 50 Гц) вызывает сильные и весьма болезненные судороги мышц рук, которые человек преодолеть не в состоянии, т. е. он не может разжать руку, которой касается токоведущей части, не может отбросить провод от себя и оказывается как бы прикованным к токоведущей части. Такой ток называется пороговым неотпускающим.

При 25–50 мА действие тока распространяется на мышцы грудной клетки, что приводит к затруднению и даже прекращению дыхания. При длительном воздействии этого тока – в течение нескольких минут – может наступить смерть вследствие прекращения работы легких.

При 100 мА ток оказывает непосредственное влияние также и на мышцу сердца; при длительности протекания более 0,5 секунд ток может вызвать остановку или фибрилляцию сердца, т.е. быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце перестает работать как насос. В результате в организме прекращается кровообращение и наступает смерть. Этот ток называется фибрилляционным.

Длительность протекания тока через тело человека влияет на исход поражения вследствие того, что со временем резко повышается ток за счет уменьшения сопротивления тела и накапливаются отрицательные последствия воздействия тока на организм. Род и частота тока в значительной степени определяют исход поражения. Наиболее опасным

является переменный ток с частотой 20–100 Гц. При частоте меньше 20 или больше 100 Гц опасность поражения током заметно снижается.

Токи частотой свыше 0,5 МГц не оказывают раздражающего действия на ткани и поэтому не вызывают электрического удара. Однако они могут вызвать термические ожоги. При постоянном токе пороговый ощутимый ток повышается до 6–7 мА, пороговый неотпускающий ток – до 50–70 мА, а фибрилляционный при длительности воздействия более 0,5 секунд – до 300 мА.

Индивидуальные свойства человека – состояние здоровья, подготовленность к работе в электрической установке и другие факторы – также имеют значение для исхода поражения. Поэтому обслуживание электроустановок поручается лицам, прошедшим медицинский осмотр и специальное обучение.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Внешний вид установки по исследованию сопротивления тела человека представлен на рис. 1.

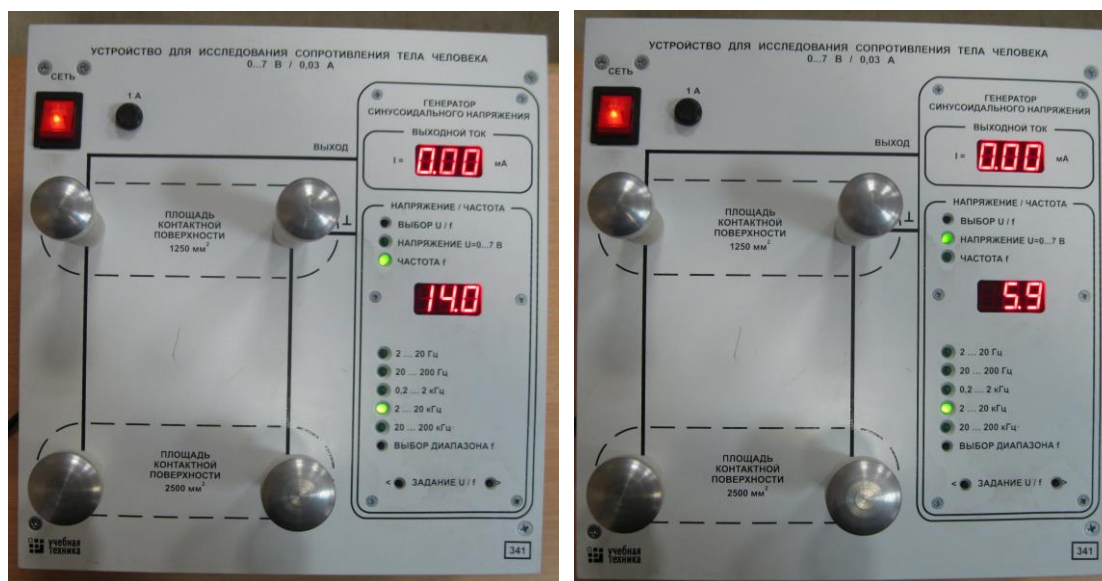


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда по исследованию сопротивления тела человека (слева — в режиме задания частоты, справа — в режиме задания амплитуды)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследование зависимости сопротивления тела человека от напряжения

Исследование зависимости сопротивления тела человека от напряжения проводят при **фиксированной частоте 1 кГц** в диапазоне **напряжений от 0 до 7 В**. Экспериментально полученные данные заносят в табл. 2.

Табл. 2. Исследование зависимости сопротивления тела человека от напряжения при $f=1\text{ кГц}$

Напряжение U , В при $f=1\text{ кГц}$	Сила тока I , мА	
	при $S=1250\text{ мм}^2$	при $S=2500\text{ мм}^2$
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Ладони рук порознь прикладываются к двум электродам с площадью контактной поверхности $S=1250\text{ мм}^2$ и записывается величина тока I , протекающего через тело человека. Затем ладони рук порознь прикладываются к двум электродам с площадью контактной поверхности $S=2500\text{ мм}^2$ и записывается соответствующая величина тока. По табличным данным строятся графики.

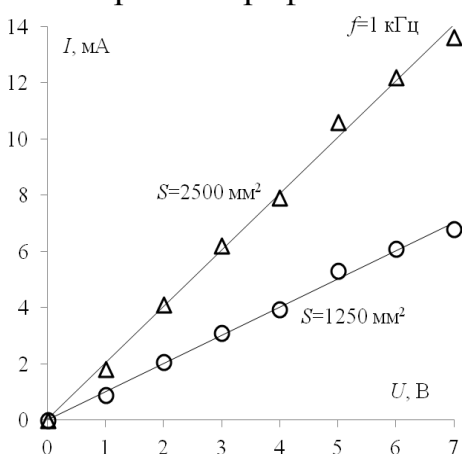


Рис. 2. Зависимость силы тока от напряжения при частоте 1 кГц

По тангенсу угла наклона рассчитывается электрическое сопротивление тела человека при различной площади контактных поверхностей.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (0.2)$$

На основании расчетов делается вывод о влиянии площади контактной поверхности на сопротивление человека.

Исследование зависимости сопротивления тела человека от частоты

Исследование зависимости сопротивления тела человека от частоты проводят при фиксированной амплитуде напряжения **7 В в диапазоне частот от 100 Гц до 1 кГц**. Ладони рук порознь прикладываются к двум электродам с площадью контактной поверхности 1250 мм^2 и фиксируется величина тока, протекающего через тело человека. Затем ладони рук порознь прикладываются к двум электродам с площадью контактной поверхности 2500 мм^2 и в таблицу записывается сила тока I , протекающего через тело человека. По результату измерения заполняется табл. 3

Табл. 3. Исследование зависимости сопротивления тела человека от частоты

Частота f , Гц при $U=7 \text{ В}$	Сила тока I , мА	
	при $S=1250 \text{ мм}^2$	при $S=2500 \text{ мм}^2$
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		

По табличным данным строят графики зависимости силы тока от частоты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током.

2. Дайте определения следующим понятиям: *напряжение шага, напряжение прикосновения, токоведущая часть, электроустановка.*

3. Какие существуют средства защиты человека от прямого и косвенного прикосновения?

4. Что оказывает решающее действие на поражение человека: ток или напряжение?

5. Опасно ли напряжение 12 В?

6. Как вы считаете почему в кооперативных погребах используется сеть 36 В, в жилых помещениях 220 В?

7. Почему в жилых зданиях и помещениях нельзя использовать сеть 36 В?

8. Какое физиологическое воздействие оказывает электрофорез (физиотерапия)?

9. В каком случае опасность поражения электрическим током выше: в трезвом состоянии или в состоянии алкогольного опьянения?