

Министерство образования и науки Кыргызской Республики

Кыргызский Государственный Технический Университет  
им. И.Раззакова

Кафедра "Техносферная безопасность"

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

Методические указания к лабораторной работе № 18  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для  
студентов всех форм обучения и всех направлений

Бишкек 2019

## **РЕКОМЕНДОВАНО**

На заседании кафедры  
«Техносферная безопасность»  
Прот. № 4 от 9.01 2019 г.

## **ОДОБРЕНО**

Методическим советом  
энергетического факультета  
№ 5 от .25.01.2019 г.

Составили: ***Жапакова Б. С., Таштанбаева В.О.***

УДК 621.316.9; 523.036.33

Исследование опасности электрического тока: Методические указания к лабораторной работе № 18 по курсу «***Безопасность жизнедеятельности***» для всех специальностей и всех форм обучения/ КГТУ им.И.Раззакова; Сост: Жапакова Б. С., Таштанбаева В.О. Бишкек, 2017.

В методических указаниях приведены методика экспериментального определения электрического сопротивления тела человека, краткие теоретические сведения и обработки данных.

Методическое указание состоит из 13 страниц печатного листа, содержит 5 библиографических списка.

Предназначено для студентов всех форм обучения и всех направлений.

Табл.2. Ил.2. Библиогр. 5 назв.

**Рецензент к.т.н., проф. Саньков В.И.**

© КГТУ им.И.Раззакова  
© ***Жапакова Б. С.,  
Таштанбаева В.О.***

2019

## Цель работы

Целью работы является экспериментальное определение значений электрофизических параметров для исследователя на безопасных напряжениях переменного тока и расчетное определение параметров опасности электрического тока на опасных напряжениях, могущих вызвать поражение человека. Студент, выполняющий эту работу на экспериментальном стенде, должен определить для своего тела:

1) экспериментально - электрическое сопротивление методом амперметра-вольтметра в зависимости от приложенного напряжения при малых значениях тока промышленной частоты (50 Гц),

2) расчетом - зависимость электрического сопротивления тела и величины протекающего через него тока промышленной частоты при напряжениях до 380 В,

По итогам работы проанализировать полученные результаты и сделать выводы о значениях напряжений прикосновения, при которых могут быть поражения электрическим током с получением электротравм различных степеней.

## Краткие теоретические сведения

**Электробезопасность** – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Прикоснувшись к проводнику, находящемуся под напряжением, человек «включает» себя в электрическую цепь, если он плохо изолирован от земли или одновременно касается объекта с другим значением потенциала. В этом случае через тело человека проходит электрический ток, который оказывает специфическое действие на организм: термическое, электролитическое, механическое и биологическое.

При *термическом* действии происходит перегрев и функциональное расстройство органов на пути прохождения тока.

*Электролитическое* действие тока выражается в электролизе жидкости в тканях организма, в том числе крови, и нарушении ее физико- химического состава.

*Механическое* действие приводит к разрыву тканей, расслоению, ударному действию испарения жидкости из тканей организма. Механическое действие связано с сильным сокращением мышц, вплоть до их разрыва.

**Биологическое** действие тока выражается в раздражении и перевозбуждении нервной системы.

Несоблюдение правил электробезопасности может привести к поражению электрическим током и различным электротравмам. Различают два вида электротравм:

- местные электротравмы
- общие электротравмы (электрический удар).

**Местная электротравма** – это чётко выраженное местное повреждение целостности тканей организма, в том числе костных тканей, вызванное действием электрического тока или электрической дугой. К местным электротравмам относятся: электрические ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, механические повреждения, электроофтальмия.

**Электрические ожоги** могут быть вызваны протеканием тока через тело человека (токовый или контактный ожог), а также воздействием электрической дуги на тело (дуговой ожог). В первом случае, ожог возникает как следствие преобразования энергии электрического тока в тепловую и является сравнительно лёгким (покраснение кожи, образование пузырей). Ожоги, вызванные электрической дугой, носят, как правило, тяжёлый характер (омертвление поражённого участка кожи, обугливание и сгорание тканей).

**Электрические знаки** – это чётко очерченные пятна серого или бледно-жёлтого цвета диаметром 1-5 мм на поверхности кожи человека, подвергшегося действию тока. Электрические знаки безболезненны, и лечение их заканчивается, как правило, благополучно.

**Металлизация кожи** – это проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Обычно с течением времени больная кожа сходит, поражённый участок приобретает нормальный вид, и исчезают болезненные ощущения.

**Механические повреждения** являются следствием резких произвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, вывихи суставов и даже переломы костей. Механические повреждения возникают очень редко.

**Электроофтальмия** – воспаление наружных оболочек глаз, возникающее в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Обычно болезнь продолжается несколько дней. В случае поражения роговой оболочки глаз лечение оказывается более сложным и длительным.

**Общая электротравма (Электрический удар)** – возбуждение живых тканей организма протекающим через него электрическим током, сопровождающееся произвольными судорожными сокращениями мышц. В зависимости от исхода поражения электрические удары делятся на четыре степени:

- I – судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- II – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и работой сердца;
- III - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого вместе);
- IV – клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения – переходное состояние от жизни к смерти, наступающее с момента прекращения деятельности сердца и легких. У человека при этом отсутствуют все признаки жизни. Однако в первый момент во всех клетках продолжают обменные процессы (клеточное дыхание) хотя и на очень низком уровне, но воздействуя на сердце и легкие можно оживить организм. Длительность клинической смерти определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток коры головного мозга, в большинстве случаев 4-6 мин (редко 7-8 мин.).

Характер и последствия поражения электрическим током зависят от следующих факторов:

- *величины силы тока,*
- *рода и частоты тока*
- *пути прохождения тока;*
- *продолжительности его воздействия;*
- *электрического сопротивления тела;*
- *приложенное напряжение*
- *температуры и влажности внешней среды и кожи;*
- *индивидуальных особенностей человека. (особенностей кардиоцикла, заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем, пол и возраст);*
- *степени неожиданности включения тока;*

Значение **силы тока**, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше ток, тем опаснее его действие. По характеру воздействия на человека токов различной величины различают токи - **ощутимый, неотпускающий и фибрилляционный**. Наименьшие их значения называют пороговыми. Наиболее вероятные значения этих токов установлены для путей прохождения - рука-рука или рука-ноги.

**Пороговый осязаемый ток** величиной 0,6-1,6 мА – для переменного частотой 50 Гц и 5-7 мА – для постоянного вызывает ощущение слабого зуда, легкого покалывания или нагрева. Ток величиной 3-5 мА (50 Гц) и 8-10 мА (постоянный) ощущается всей кистью руки. Увеличение тока вызывает резкие боли и непроизвольные сокращения мышц.

**Пороговый неотпускающий ток** обуславливает непреодолимые судорожные сокращения мышц рук. Наиболее вероятные средние его значения составляют: для мужчин – 16 мА (50 Гц) и 80 мА (постоянный), для женщин – соответственно 11 и 50 мА, для детей – 8 и 40 мА. Ток 25-50 мА (50 Гц) воздействует на мышцы туловища и грудной клетки, затрудняя дыхание и вызывая сужение кровеносных сосудов. При длительном воздействии такого тока может наступить смерть от удушья или остановки сердца.

**Пороговый фибрилляционный ток** (более 50 мА при 50 Гц) при времени действия 1-3 с вызывает фибрилляцию (дословно – трепыхание) главной мышцы сердца (миокарда) и даже остановку сердца. Величина этого тока увеличивается с ростом массы тела человека и падает с увеличением времени воздействия.

**Род и частота тока.** Принятая в энергетике частота электрического тока (50 Гц) представляет большую опасность возникновения судорог и фибрилляции желудочков сердца. Фибрилляция не является мускульной реакцией, она вызывается

повторяющейся стимуляцией с максимальной чувствительностью при 10 Гц. Поэтому переменный ток (с частотой 50 Гц) считается в 3-5 раз более опасным, чем постоянный ток, – он воздействует на сердечную деятельность человека. Диапазон наибольшей опасности переменного тока – при частоте 20-100 Гц. При частоте меньше 20 Гц и больше 100 Гц опасность поражения током резко снижается. Токи частотой свыше 500 000 Гц не оказывают раздражающего действия на ткани и поэтому не вызывают электрического удара. Однако они могут вызвать термические ожоги. При постоянном токе пороговый осязаемый 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.

**Продолжительность воздействия тока.** Тяжесть поражения зависит от продолжительности воздействия электрического тока. Время прохождения электрического тока имеет решающее значение для определения степени телесного повреждения. При длительном воздействии электрического тока снижается сопротивление кожи (из-за потовыделения) в местах контактов, повышается вероятность прохождения тока в особенно опасный период сердечного цикла. Человек

может выдержать смертельно опасное значение переменного тока **100 мА**, если продолжительность воздействия тока не превысит **0,5 с**.

**Пути прохождения тока.** Наиболее опасно, когда ток проходит через жизненно важные органы – сердце, лёгкие, головной мозг.

При поражении человека по пути: «рука-рука» через сердце проходит 3,3%, «левая рука - ноги» через сердце проходит 3,7%, «правая рука - ноги» через сердце проходит 6,7%, «нога - нога» через сердце проходит 0,4%, «голова - ноги» через сердце проходит 6,8%, «голова - руки» через сердце проходит 7% общей величины электрического тока.

Наиболее тяжелое поражение вероятно, если на пути тока оказывается сердце, легкие, грудная клетка, головной или спинной мозг, поскольку ток воздействует непосредственно на эти органы. Если ток проходит иными путями, то воздействие его на органы может быть рефлекторным, а не непосредственным. При этом опасность тяжелого поражения хотя и сохраняется, но вероятность ее резко снижается.

Наиболее опасными являются петли голова – руки и голова - ноги, когда ток может проходить через головной и спинной мозг (но эти петли возникают относительно редко).

Наименее опасен путь «нога – нога», который именуется нижней петлей и возникает при воздействии на человека так называемого напряжения шага. В этом случае через сердце проходит, очевидно, небольшой ток. Но надо иметь в виду, что имелись факты смертельного исхода при протекании тока через палец руки, с одной его стороны на другую.

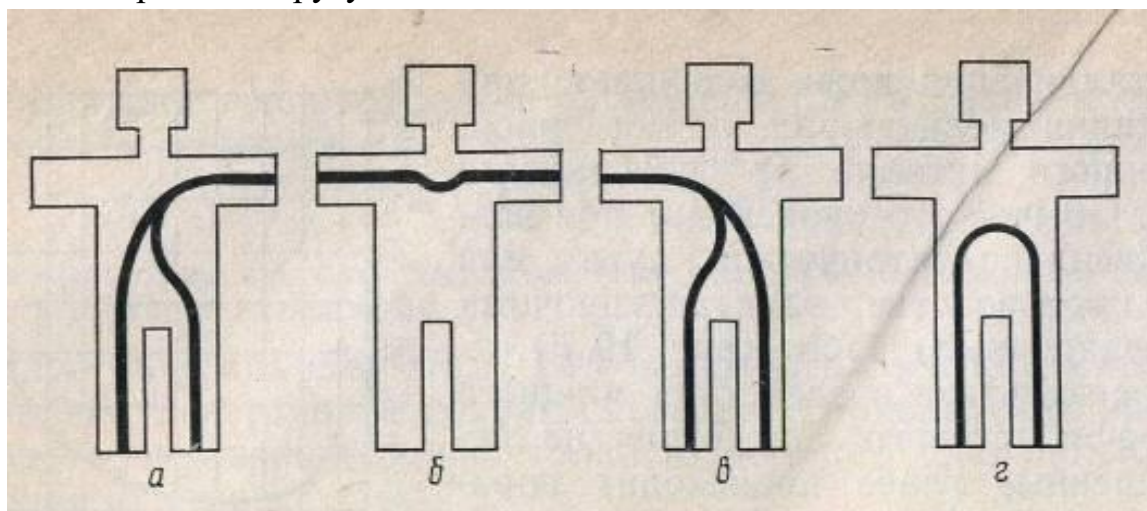


Рис.1 Пути прохождения тока:

- а) левая рука – ноги; б) рука – рука; в) правая рука – ноги; г) нога - нога

Поражение человека электрическим током является следствием его прикосновения к двум точкам внешней электрической цепи, между которыми действует напряжение, называемое «**напряжением прикосновения**». Безопасным для человека считается напряжение электрической сети 42 Вольта, использующееся для переносных осветительных и бытовых приборов на воздухе и в доме, и 12 Вольт, при условии использования переносных светильников и приборов внутри котлов, металлических резервуаров и пр.

Для тока переменного, с его частотой 50 Гц допустимое напряжение прикосновения по ГОСТ12.1.038-82 составляет всего 2 В, а сила тока - всего 0,3 мА. Для постоянного тока – допустимое напряжение прикосновения всего-то 8В, при силе тока в 1,0 мА (данные приведены для времени воздействия менее 10 мин в сутки).

**Электрическое сопротивление** тела человека складывается из сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей. Кожа, вернее её верхний слой, называемый эпидермисом, имеющий толщину до 0,2 мм и состоящий в основном из мёртвых ороговевших клеток, обладает большим сопротивлением, которое и определяет общее сопротивление тела человека. Сопротивление нижних слоёв кожи и внутренних тканей человека незначительно. При сухой чистой и неповреждённой коже сопротивление тела человека колеблется в пределах 2 тыс.-2 млн. Ом. 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 расчётах сопротивление тела человека принимается обычно равным **1000 Ом**.

Сопротивление кожи неодинаково у разных людей, имеет значительную ёмкостную составляющую и различно в разных частях тела. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица (особенно лба), шеи, рук, тыльной стороны кистей, подмышечных впадин. При напряжениях свыше 15-20 В в коже происходит внутримолекулярный пробой, что резко снижает её полное сопротивление. Вследствие потоотделения, высокой влажности или электропроводных загрязнений сопротивление кожи снижается.

После прикосновения человек образует дополнительную электрическую цепь, участками которой являются: тело человека, его обувь или одежда, электрозащитные элементы оборудования или инструмента, оказавшиеся в одной цепи с телом. Каждый из них влияет на величину суммарного полного сопротивления цепи. Последнее определяет величину тока, протекающего через нее (и тело) при приложенном напряжении прикосновения. Большое



электросопротивление обуви, одежды, элементов оборудования или инструмента способствует значительному снижению тока, проходящего через человека.

Электрическое сопротивление тела человека нелинейно зависит от напряжения. Для переменного тока частотой 50 Гц и напряжений от 0,3 В и выше на наиболее безопасной траектории тока «ладонь – запястье левой руки» величина сопротивления может быть описана следующим уравнением:

$$Z = 300 + 1000 \cdot (A / U_{\text{ПР}}) - 0,025 \cdot U_{\text{ПР}}, \quad (1)$$

где  $Z$ ,  $U_{\text{ПР}}$  - соответственно, полное сопротивление (Ом) и напряжение прикосновения (В);  $A$  - электрофизический параметр, численно различный для разных людей, определяемый экспериментально. Он может изменяться в зависимости от физиологического и психического состояний человека.

Для более опасных траекторий тока («рука-рука» и «нога-нога») величина сопротивления при напряжениях от 5 В и выше описывается уравнением (П.А.Долина [1])

$$Z = 300 + 1000 \cdot [A_D / (U_{\text{ПР}} + 10)], \quad (2)$$

где  $A_D$  – электрофизический параметр Долина, имеющий наиболее вероятное значение 77000.

В нашей стране для переменного тока частотой 50 Гц приняты в качестве расчетных  $Z = 1000$  Ом при  $U_{\text{ПР}} = 50$  В и выше и  $Z = 6000$  Ом при  $U_{\text{ПР}} = 36$  В.

### Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 2) содержит низкочастотный генератор переменного тока 1, на котором устанавливается требуемое напряжение эксперимента с возможной установкой частоты 50 Гц.

Напряжение на выходе генератора 1 устанавливается переключателем и плавным регулятором в каждом диапазоне. Переменным напряжением питается измерительный контур 2. Напряжение от генератора 1 подается на первую обмотку измерительного трансформатора 3. Вольтметр переменного тока 4 подключен ко второй идентичной обмотке разделительного трансформатора 3. На измерительный контур 2 напряжение подается от отдельной обмотки трансформатора 3, имеющей коэффициент трансформации по отношению к первой и второй обмоткам.

Для определения величины протекающего тока в измерительном контуре 2 последовательно с обмоткой «В» и металлическими электродами 7 и 8, к которым

подключается тело человека путем прикосновения, установлена безреактивная катушка образцового сопротивления 5, номинальной величиной 10 кОм (10000 Ом). Падение напряжения на этом сопротивлении измеряется вольтметром переменного тока 6, имеющим шкалы 10, 30, 100, 300, 1000 и 3000 мВ с переключателем.

Для измерений сопротивления тела испытуемый человек кладет обнаженную руку на металлический электрод 7 и ладонью сжимает электрод 8.

Сопротивление тела рассчитывается в соответствии с законом Ома по формуле:

$$Z = U_{\text{ПР}} / I, \text{ кОм.} \quad (3)$$

По значениям величин  $U_{\text{ПР}}$  и  $Z$  определяется электрофизический параметр  $A$  для уравнения (1) по формуле:

$$A = U_{\text{ПР}} (Z - 300 + 0,025 \cdot U_{\text{ПР}}) / 1000, \text{ Ом.В} \quad (4)$$

В формуле (4) сопротивление  $Z$  следует подставлять в Ом. Для расчетов с малой точностью вторым и третьим слагаемыми в скобках формулы (4) можно пренебречь и она преобразуется в формулу (5), где величина  $Z$  подставляется в кОм

$$A = U_{\text{ПР}} \cdot Z, \text{ кОм.В} \quad (5)$$

Измерительный контур 3 гальванически изолирован от зануленных приборов. Выход генератора 1 и входы вольтметров 4 и 6 являются трансформаторными и имеют двойную изоляцию от питающих цепей напряжением 220 В.

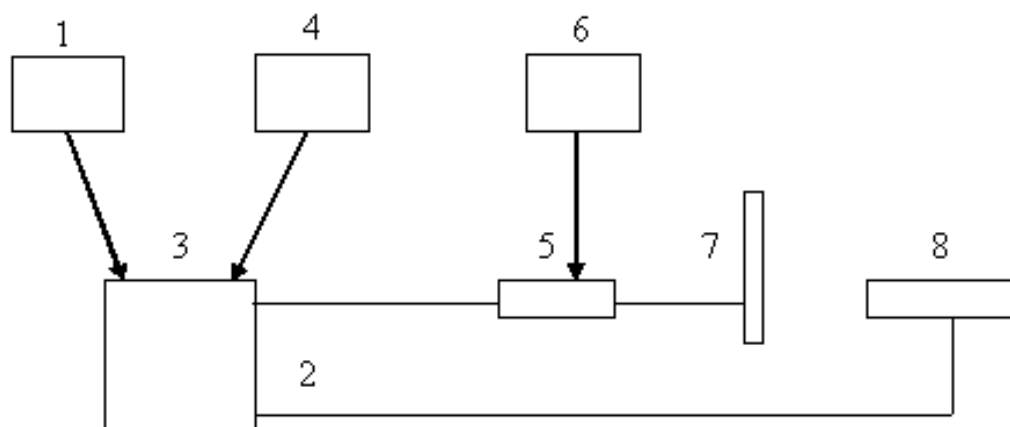


Рис 2. Схема экспериментальной установки:

1 – звуковой генератор типа ГЗ-102; 2 – измерительный контур для исследования сопротивления тела; 3 – разделительный трансформатор с двумя идентичными обмотками и

одной обмоткой с коэффициентом трансформации 3,3; 4, 6 – вольтметры переменного тока типа ВЗ-7 с симметричным трансформаторным входом; 5 – безреактивная катушка образцового сопротивления 10 кОм; 7 - электрод-рукоятка для прижатия рукой исследователя; 8 – электрод-подставка для размещения руки исследователя;

### 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. Для этого проверяются нулевые показания стрелочных измерительных приборов, затем включаются генератор 1 и вольтметры 4 и 6 для прогрева и проверяется работоспособность экспериментальной установки.

Каждый студент после допуска преподавателя самостоятельно измеряет на экспериментальной установке сопротивление своего тела. Для этого вначале на генераторе устанавливаются частота 50 Гц и выходное напряжение 3 В по переключателю. Запястье левой руки обнажают от одежды и сухой кистью рук сжимают электрод 8. Следует учитывать, что от силы сжатия зависит величина измеряемого сопротивления.

Схемы измерений указываются в протоколе наблюдений.

На частоте 50 Гц проводят измерения при напряжениях на вольтметре 4 примерно 250, 500 и 1000 мВ. В протокол наблюдений (таблица 1) вносятся величины  $I$  в мА,  $U_{г}$  и  $U_{пр}$  в В. Студент заготавливает протокол наблюдений до проведения эксперимента. Допуск к работе оформляется преподавателем росписью на протоколе наблюдений.

### Протокол наблюдений

Таблица 1

Частота, Гц	Напряжение		Ток, мА	Сопротивление, кОм	$A$ , кОм·В
	$U_{г}$ , В	$U_{пр}$ , В			
50					
50					
50					
50					
50					
50					

### Обработка результатов

В таблице 1 по экспериментальным данным для каждого измерения рассчитываются значения сопротивления тела по формуле (3) и электрофизического параметра  $A$  по формулам (4) или (5).

Для измерений на частоте 50 Гц определяются среднеарифметические значения электрофизического параметра  $A$  и подставляются в формулы (1) и (2). Эти формулы в конкретном виде выписываются для указания в отчете и применении в дальнейшей обработки. Для этого рассчитываются значения сопротивления тела человека и тока, проходящего через него при напряжениях прикосновения 12, 36, 42, 127, 220 и 380 В. Сопротивления рассчитывают по формуле (1) и (2). Токи рассчитывают по формуле закона Ома. Результаты расчета сводят в табл. 2.

Таблица 2

Частота, Гц	Напряжения прикосновения, В												
	12		36		42		127		220		380		
	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	
50													

По 6-ти точкам из рассчитанной таблицы 2 строятся графики зависимостей сопротивления тела человека  $Z$  и тока через него  $i$  в зависимости от напряжения. По этим графикам могут быть конкретно определены величины тока через тело исследуемого человека при любых напряжениях в пределах от 12 и до 380 В на промышленной частоте 50 Гц.

### Оформление отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1) принципиальную схему экспериментальной установки и краткое описание ее работы;
- 2) порядок выполнения измерений и протокол наблюдений (табл. 1);
- 3) результаты обработки экспериментальных данных на частоте 50 Гц (табл. 2);
- 4) графики зависимостей на частоте 50 Гц  $Z = f(U_{np})$ ,  $i = f(U_{np})$ ;
- 5) выводы по лабораторной работе.

На графиках зависимостей сопротивлений тела и тока на частоте 50 Гц необходимо отметить значения напряжений, соответствующие пороговым значениям ощутимого, неотпускающего и фибрилляционного токов.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова наиболее вероятная причина поражения электрическим током со смертельным исходом в электроустановках на производстве?
2. Какие профзаболевания может вызвать электрический ток?
3. Что называют электротравмами и как они классифицируются?
4. При каких значениях переменного тока частотой 50 Гц могут произойти электротравмы различных степеней?
5. Что называют напряжением прикосновения и как его нормируют в нормальном режиме работы электроустановок?
6. Как зависит электрическое сопротивление тела человека от напряжения прикосновения на переменном токе и от его частоты?
7. Как зависит ток, проходящий через тело человека, от напряжения прикосновения и частоты?
8. Как можно оценить возможную степень электротравмы по зависимости сопротивления и тока от напряжения прикосновения?
9. Что называется фибрилляцией сердца и в чем ее опасность?
10. Почему при поражении электрическим током нарушается дыхание?

### **Библиографический список**

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности технологических процессов и производств. Охрана труда. М.: Винола, 2011
4. ГОСТ ССБТ 12.1.038-82. Критерии безопасности электрического тока. М.: Стандартгиз, 1986.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 6-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2002.