

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Кафедра безопасности полетов и жизнедеятельности

Т.В. Наумова

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОПАСНОСТИ
НАПРЯЖЕНИЯ ШАГА**

Пособие по выполнению лабораторной работы №9
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»

*для студентов всех специальностей
всех форм обучения*

Москва-2007

Рецензент: к.т.н., доц. В.А. Карташев

Пособие предназначено для выполнения лабораторной работы по разделу «Электробезопасность» дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», включает краткую теоретическую часть, описание лабораторного стенда, порядок выполнения работы и контрольные вопросы для самопроверки.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 01.03.07 г. и методического совета 13.03.07г.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОПАСНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ШАГА

Цель работы:

Изучить условия поражения электрическим током человека, находящегося под воздействием напряжения шага и напряжения прикосновения; и ознакомиться с методом выравнивания потенциалов в зоне растекания тока замыкания на землю путем исследования эффективности сложного заземляющего контура.

Продолжительность лабораторной работы – 2 часа.

Краткая теоретическая часть

Поражение человека электрическим током может произойти при определенных условиях, например:

- при прикосновениях к токоведущим частям электроустановок, находящимся под напряжением; металлическим нетокведущим частям, оказавшимся под напряжением (например, корпусам оборудования, металлическим конструкциям сооружений и т. д.); отключенным токоведущим частям, на которых остался заряд;
- при воздействии электрической дуги в сетях напряжением выше 1000 В, возникающей между токоведущей частью электрооборудования и человеком, если человек окажется в непосредственной близости от токоведущих частей;
- при замыкании тока на землю, если человек находится в зоне растекания тока.

Протекая через тело человека, электрический ток может оказать механическое, термическое, биологическое, электролитическое и световое воздействия. Согласно ГОСТ 12.1.019 –96 степень опасности и последствия поражений зависят от следующих факторов:

- рода и величины напряжения и тока;

- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека;
- условий внешней среды.

Статистика производственного и бытового электротравматизма показывает, что в расчете на 1 млн жителей в России ежегодно происходит 8,8 смертельных случаев, что составляет 12-13% от общего числа несчастных случаев со смертельным исходом. Это в 3 раза превышает аналогичные показатели в США, в 16 раз – в Японии, в 25 раз – в Швеции. Поражения током при работе с электроустановками напряжением до 1000 В случаются примерно в 3 раза чаще, чем с электроустановками напряжением выше 1000 В. Это объясняется их более широким применением, а также нарушениями правил эксплуатации: несогласованными и ошибочными действиями персонала; подачей напряжения на установку, где работают люди; оставлением установки под напряжением без надзора; работой на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д. К обслуживанию электрооборудования напряжением выше 1000 В допускаются только лица, имеющие специальную подготовку и соответствующую квалификацию, однако, тяжесть поражения и число несчастных случаев с летальным исходом при этом выше. В данной лабораторной работе моделируются процессы, связанные с эксплуатацией воздушных линий электропередач (ЛЭП) напряжением 6 кВ и 35 кВ, т.е. электрооборудования напряжением выше 1000 В.

В случаях прямой утечки электроэнергии в землю, например, через молниеотвод во время грозы, при падении на грунт оборвавшегося провода или при замыкании на металлическую опору ЛЭП, возникает *электрическое замыкание на землю*, т.е. случайное электрическое соединение токоведущей части непосредственно с землей или нетоковедущими проводами, конструкциями или предметами, неизолированными от земли (ГОСТ 12.1.009 –99). Через место

контакта начинает протекать *ток замыкания* I_3 , который растекается в грунте и определяет распределение потенциалов на поверхности земли по закону гиперболы (рис. 1).

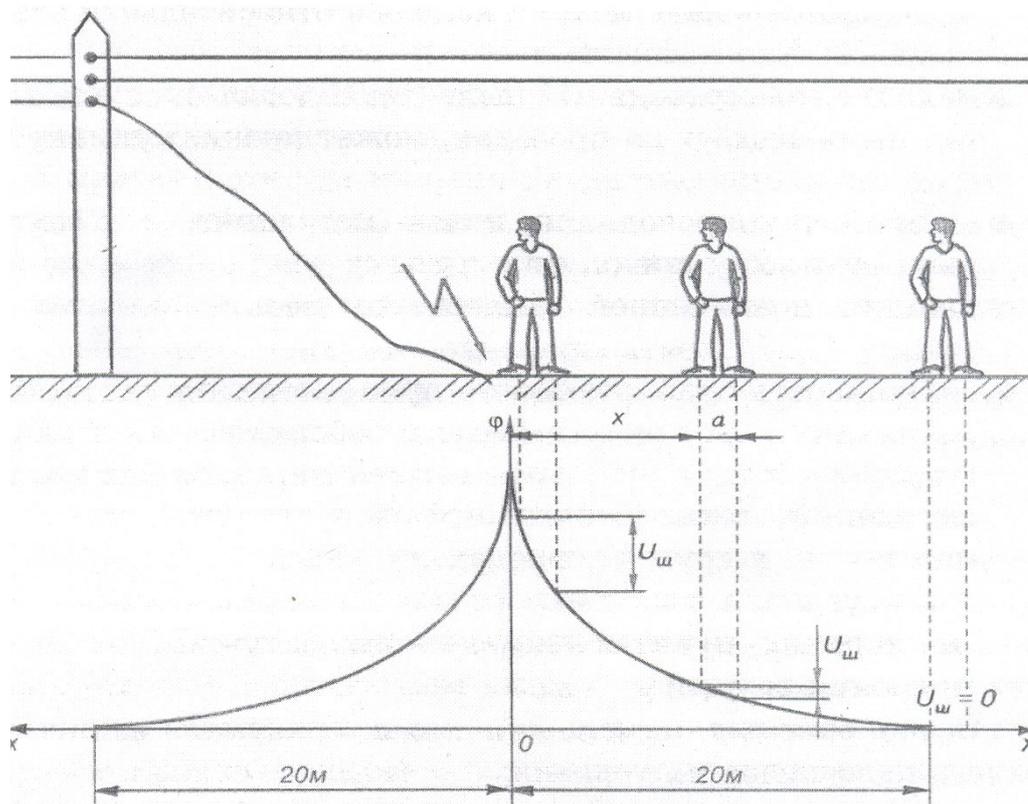


Рис. 1. Напряжение шага

Т.о. потенциал имеет наибольшую величину в месте замыкания землю и заметно падает по мере удаления от него, поскольку сопротивление грунта увеличивается пропорционально квадрату этого удаления. Установлено, что на расстоянии более 20 м от места замыкания на землю потенциал снижается весьма значительно, и точки почвы на таком удалении принято считать точками нулевого потенциала.

Территория земли, за пределами которой электрический потенциал, обусловленный токами замыкания на землю, может быть условно принят равным нулю, называется *зоной растекания тока замыкания на землю* (ГОСТ

12.1.009 –99). Если человек находится в зоне растекания тока, то между подошвами ног, касающимися поверхности земли в разных точках, возникает разность потенциалов, получившая название напряжение шага. В соответствии с ГОСТ 12.1.009-99 *напряжение шага* $U_{ш}$ - напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага (условно принимаемого 0,8 м), на которых одновременно стоит человек. Чем ближе будет находиться человек к месту электрического замыкания на землю, тем под большим напряжением шага он окажется (см. рис. 1).

Если величину электрического потенциала под одной ногой обозначить φ_1 , а под другой - φ_2 , то величина напряжения шага определяется по формуле:

$$U_{ш} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{I_3 \rho}{2 \pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{(x + a)} \right) = \frac{I_3 \rho a}{2 \pi x (x + a)} \quad [В] \quad (1)$$

где I_3 –ток замыкания на землю (А);

ρ - удельное сопротивление грунта (Ом·м);

a – длина шага (м);

x – расстояние от места замыкания на землю до рассматриваемой точки (м)

При электрическом замыкании на металлические конструкции, например, заземленный корпус электрооборудования, опоры ЛЭП или при касании проводов высокогабаритной техникой (кранами), они окажутся под напряжением. Прикоснувшийся к ним человек попадает под напряжение прикосновения, которое равно разности потенциалов корпуса поврежденного электрооборудования φ_k и поверхности грунта φ_g , на котором он стоит. Согласно ГОСТ 12.1.009 – 99 *напряжение прикосновения* $U_{пр}$ – напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек (рис. 2).

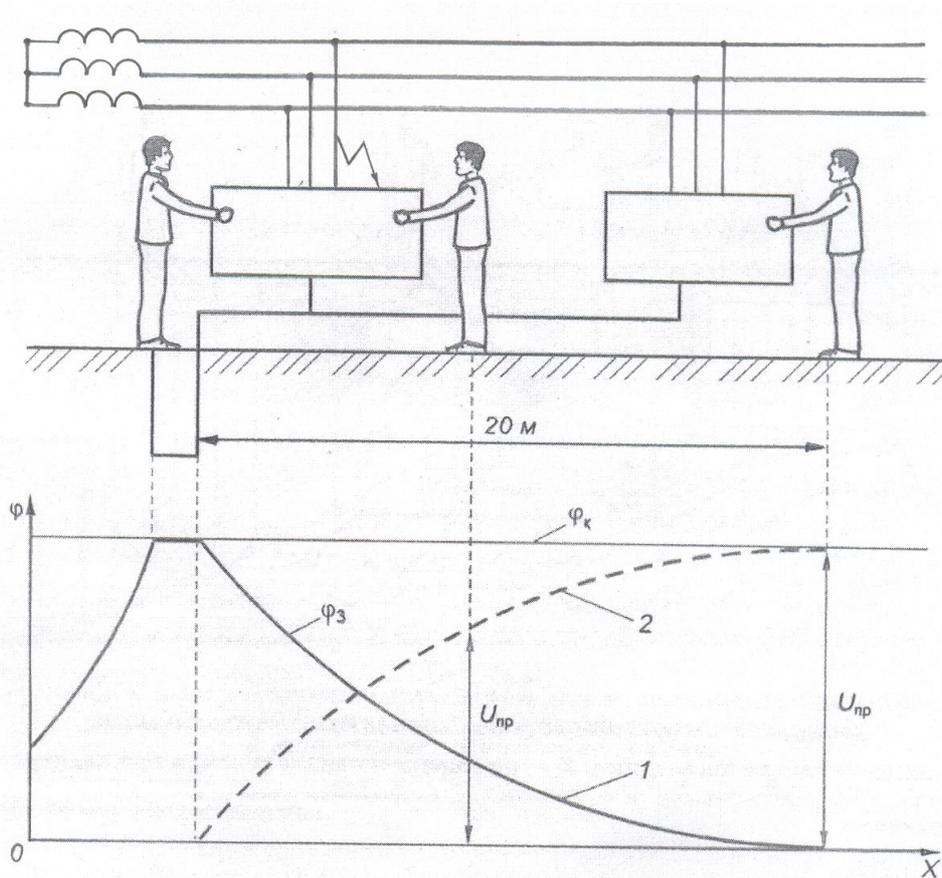


Рис. 2. Напряжение прикосновения

При удалении человека от места замыкания (на рис.2 -это заземлитель электроустановки) потенциал грунта $\varphi_{г}$ убывает (кривая 1). Поскольку потенциал на корпусе $\varphi_{к}$ не изменяется, напряжение прикосновения $U_{пр}$ растет (кривая 2) и будет максимальным в случае, когда человек находится вне зоны растекания тока, т.е. далее 20 м от заземлителя.

Величина напряжения прикосновения определяется по формуле:

$$U_{пр} = \varphi_{к} - \varphi_{г} = \frac{I_3 \rho}{2 \pi} \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x} \right) = \frac{I_3 \rho}{2 \pi x_3} \cdot \frac{x - x_3}{x} \quad [B] \quad (2)$$

где I_3 –ток замыкания на землю (А);

ρ - удельное сопротивление грунта (Ом·м);

a – длина шага (м);

x_3 –радиус заземлителя, (м);

x – расстояние от места замыкания на землю до рассматриваемой точки (м).

Для защиты от поражения электрическим током применяют различные технические способы и средства, в частности, метод *выравнивания потенциалов* – метод снижения напряжений прикосновения и шага между точками цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек (ГОСТ 12.1.009-99). Реализуется этот метод с помощью заземляющих устройств (контуров), состоящих из нескольких искусственных заземлителей, соединенных между собой. Заземляющий контур может быть выполнен в виде горизонтальных металлических проводников, проложенных на глубине 0,5-0,7 м, либо в виде горизонтальных и вертикальных электродов. В аварийной ситуации поля растекания заземлителей накладываются, и любая точка на поверхности грунта внутри контура имеет достаточно высокий потенциал φ_r и, следовательно, минимальное напряжение прикосновения $U_{пр}$ (Рис.3). А поскольку заземлители расположены друг от друга на незначительном расстоянии (2,5-3 м), разность потенциалов между точками поверхности земли внутри контура уменьшается, т.о. снижается и величина напряжения шага $U_{ш}$.

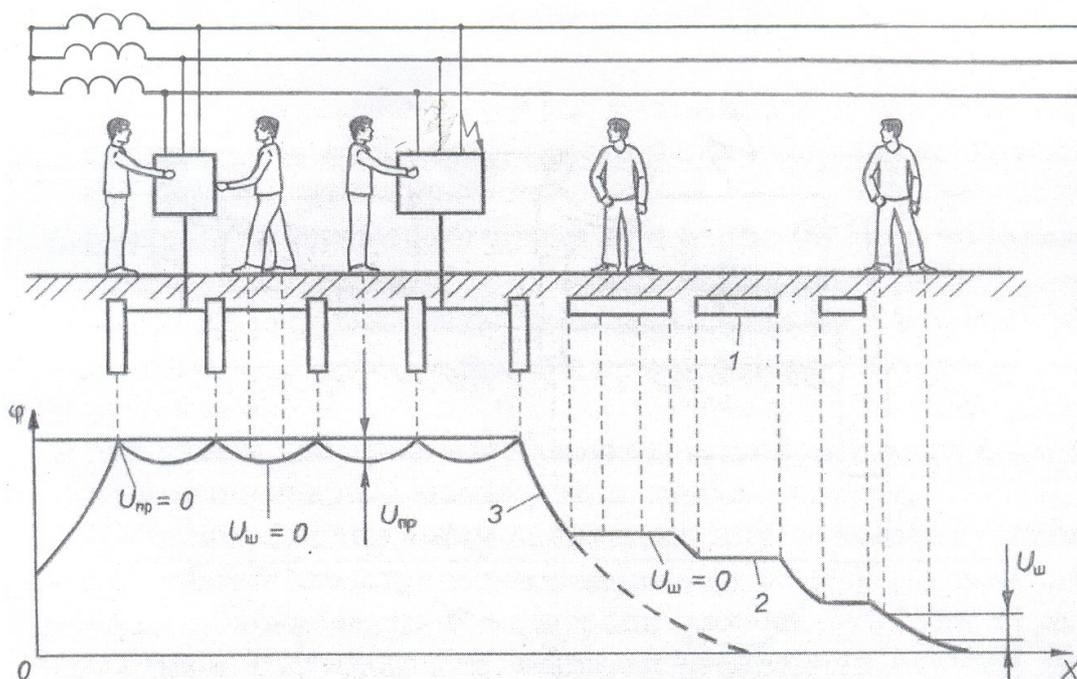


Рис. 3. Выравнивание потенциалов

Описание стенда УШН-1

Стенд УШН-1 предназначен для изучения процессов возникновения напряжения шага, а также выравнивания потенциалов и позволяет моделировать:

ситуацию возникновения напряжения шага при растекании тока в грунте во время электрического замыкания воздушной линии электропередачи напряжением 6 кВ и 35 кВ на металлический корпус опоры;

опасность поражения электрическим током при различных расстояниях между человеком и местом замыкания на землю;

защиту от поражения электрическим током методом выравнивания потенциалов путем использования сложного заземляющего контура;

разные режимы работы контура заземления и выявить наиболее эффективный.

Стенд состоит из *панели управления* и *экрана*, на котором отображаются имитируемые процессы. Внешний вид стенда представлен на Рис. 4.

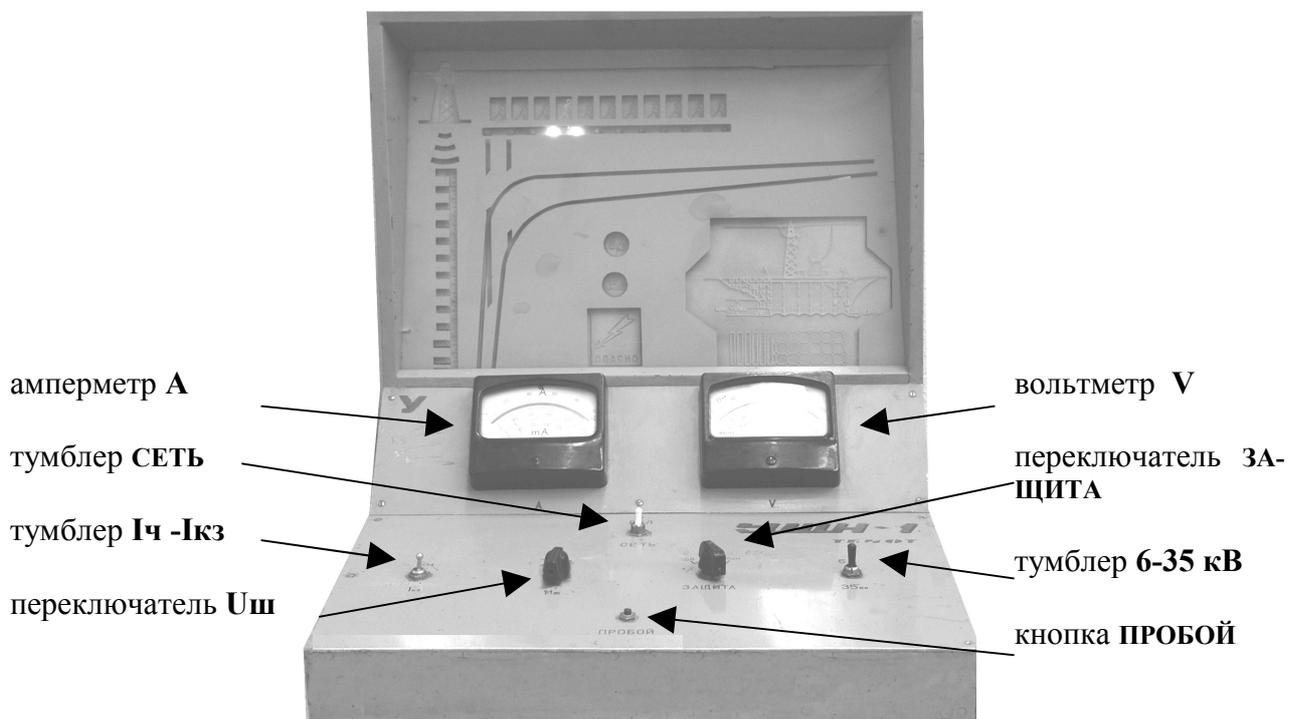


Рис. 4. Стенд УШН-1

Тумблер «СЕТЬ» включает, либо выключает стенд.

Кнопка «ПРОБОЙ» позволяет имитировать аварийную ситуацию замыкания токоведущего провода ЛЭП на корпус опоры.

Тумблер « $I_{\text{ч}}$ - $I_{\text{кз}}$ » определяет режим работы амперметра:

в положении $I_{\text{кз}}$ - показывает величину тока замыкания на землю;

в положении $I_{\text{ч}}$ - величину тока, проходящего через тело человека.

Тумблер «6-35 кВ» устанавливает значение напряжения в ЛЭП: 6 кВ, либо 35 кВ соответственно.

Переключатель $U_{\text{ш}}$ задает положение (удаленность) человека относительно места замыкания ЛЭП на землю.

Амперметр A имеет три шкалы:

верхняя показывает величину тока замыкания на землю $I_{\text{кз}}$ [А];

средняя - величину тока, проходящего через тело человека при замыкании на землю ЛЭП напряжением 35 кВ - $I_{\text{ч}}$ [mA];

нижняя - величину тока, проходящего через тело человека при замыкании на землю ЛЭП напряжением 6 кВ - $I_{\text{ч}}$ [mA].

Вольтметр V имеет две шкалы:

верхняя - показывает величину напряжения шага, приложенного к человеку, находящемуся в зоне растекания тока при замыкании на землю ЛЭП напряжением 35 кВ - $U_{\text{ш}}$ [В];

нижняя - величину напряжения шага при замыкании на землю ЛЭП напряжением 6 кВ - $U_{\text{ш}}$ [В].

Переключатель «ЗАЩИТА» вводит в систему, либо отключает (крайнее левое положение) сложный заземляющий контур для выравнивания потенциалов, а также задает значения его сопротивления (0,5 Ом – 10 Ом - 50 Ом).

Порядок выполнения работы

1. Проверить исходные положения электрической схемы стенда УШН-1:
тумблер «СЕТЬ» поставить в нижнее положение;
переключатель «ЗАЩИТА» - в крайнее левое;
переключатель « $U_{ш}$ » - в положение 1 (крайнее левое);
тумблер «6-35кВ» - в нейтральное положение;
тумблер « $I_{ч}$ - $I_{кз}$ » - в положение $I_{кз}$.
2. Включить стенд при помощи тумблера «СЕТЬ». Тумблер «6-35кВ» поставить в положение 6кВ.
3. Нажать кнопку «ПРОБОЙ». Происходит имитация растекания тока в земле при электрическом замыкании воздушной линии электропередачи на металлический корпус опоры. Амперметр A показывает величину тока замыкания на землю. Результат внести в таблицу 1 отчета по лабораторной работе.
4. Тумблер « $I_{ч}$ - $I_{кз}$ » установить в положение $I_{ч}$. При этом миллиамперметр A показывает величину тока, протекающего через тело человека $I_{ч}$. Вольтметр V показывает величину напряжения шага $U_{ш}$, приложенного к человеку, находящемуся в зоне растекания тока в положении 1.
Показание приборов внести в таблицу 1 отчета.
5. Переключатель « $U_{ш}$ » последовательно переводить в положение 2,3,...,11. При этом вольтметр V и миллиамперметр A будут показывать соответственно величину напряжения шага $U_{ш}$ и тока, протекающего через тело человека $I_{ч}$ для каждого положения (2,3,...,11) по мере удаления человека от места замыкания на землю. Показания вольтметра и миллиамперметра для каждого положения человека внести в таблицу 1 отчета.
6. Выключить стенд, привести электрическую схему в исходное состояние в соответствии с пунктом 1.

7. Аналогичные исследования выполнить при напряжении воздушной линии электропередачи 35кВ, для чего тумблер «**6-35кВ**» установить в положение 35кВ.
8. По результатам исследований построить графики зависимости величины тока, протекающего через тело человека от величины приложенного к человеку напряжения шага при увеличении расстояния между местом замыкания и человеком $I_{\text{ч}} = f(U_{\text{ш}})$ при $U_{\text{ЛЭП}}=6$ кВ; $I_{\text{ч}} = f(U_{\text{ш}})$ при $U_{\text{ЛЭП}}=35$ кВ и сделать соответствующие выводы.
9. Определить эффективность защиты человека от воздействия напряжения шага путем выравнивания потенциалов в зоне растекания тока замыкания на землю. Для чего включить:
 - тумблер «**СЕТЬ**» в положение «Вкл»;
 - тумблер «**I_ч -I_{кз}**» в положение $I_{\text{ч}}$;
 - тумблер «**6-35кВ**» в положение 6 кВ;
 - нажать кнопку «**ПРОБОЙ**».Переключатель «**U_ш**» должен находиться в положении 1, переключатель «**ЗАЩИТА**» - в крайнем левом (защитное заземление в схеме отсутствует). Показания вольтметра и миллиамперметра внести в таблицу 2 отчета.
10. Переключатель «**ЗАЩИТА**» перевести положение 0,5 Ом. При этом сопротивление заземляющего контура соответствует норме и равно 0,5 Ом. Показания приборов внести в таблицу 2 отчета.
11. Переключатель «**ЗАЩИТА**» перевести в положение 10 Ом. При этом сопротивление заземляющего контура равно 10 Ом и соответствует норме. Показания приборов внести в таблицу 2 отчета.
12. Переключатель «**ЗАЩИТА**» перевести в положение 50 Ом. При этом защитное заземление равно 50 Ом и превышает установленную норму. Показания приборов внести в таблицу 2 отчета.
13. Определить эффективность защиты человека от шагового напряжения при напряжении ЛЭП 35 кВ, для чего повторить пп.9-12, переключив тумблер «**6-35кВ**» в положение 35 кВ. Сделать выводы.

14. Оформить отчет по лабораторной работе, ответить на контрольные вопросы и привести рабочее место в порядок.

Форма отчета о лабораторной работе №9

Исследование опасности поражения человека, находящегося под напряжением шага*

Таблица 1

Положение человека в зоне растекания тока	$U_{лэп}=6 \text{ кВ}$		$U_{лэп}=35 \text{ кВ}$	
	$I_{кз} =$		$I_{кз} =$	
	$I_{ч} \text{ [mA]}$	$U_{ш} \text{ [В]}$	$I_{ч} \text{ [mA]}$	$U_{ш} \text{ [В]}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

Вывод: _____

Исследование эффективности заземляющего контура*

Таблица 2

Состояние защиты от напряжения шага	$U_{лэп}=6 \text{ кВ}$		$U_{лэп}=35 \text{ кВ}$	
	$I_{ч} \text{ [mA]}$	$U_{ш} \text{ [В]}$	$I_{ч} \text{ [mA]}$	$U_{ш} \text{ [В]}$
Защита отсутствует				
Сопротивление защитного заземления $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$ (в норме)				
Сопротивление защитного заземления $R_3 = 10 \text{ Ом}$ (в норме)				
Сопротивление защитного заземления $R_3 = 50 \text{ Ом}$ (больше нормы)				

Вывод: _____

* по данным таблицы построить графики

Контрольные вопросы

1. При каких условиях возникает и чем опасно электрическое замыкание на землю?
2. По какому закону происходит распределение потенциала на поверхности грунта при замыкании на землю?
3. Дайте определение понятию напряжения шага. При каких условиях возможно возникновение напряжения шага?
4. Как изменяется величина напряжения шага с увеличением расстояния до места замыкания на землю?
5. От каких параметров зависит величина напряжения шага?
6. Дайте определение понятию напряжения прикосновения.
7. Как изменяется величина напряжения прикосновения при перемещении человека в зоне растекания тока замыкания на землю?
8. Объясните устройство сложного заземляющего контура.
9. Каким образом достигают выравнивания потенциалов на поверхности земли?
10. Как влияет величина сопротивления заземляющего контура на опасность поражения человека напряжением шага?

Литература

1. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве (охрана труда): Уч. для вузов. –СПб.: Лань, 2006.-512 с.
2. Василенко А.Е. Исследование условий возникновения и опасности напряжения шага. Метод. рук-во по вып. лаб. раб №9.- М.: МИИГА, 1978. –13 с.
3. ГОСТ 12.1.009-99. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения

4. ГОСТ 12.1.019-96. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

Содержание

Краткая теоретическая часть.....	3
Описание стенда УШН-1.....	9
Порядок выполнения работы.....	11
Форма отчета о лабораторной работе.....	13
Контрольные вопросы.....	14
Литература.....	14