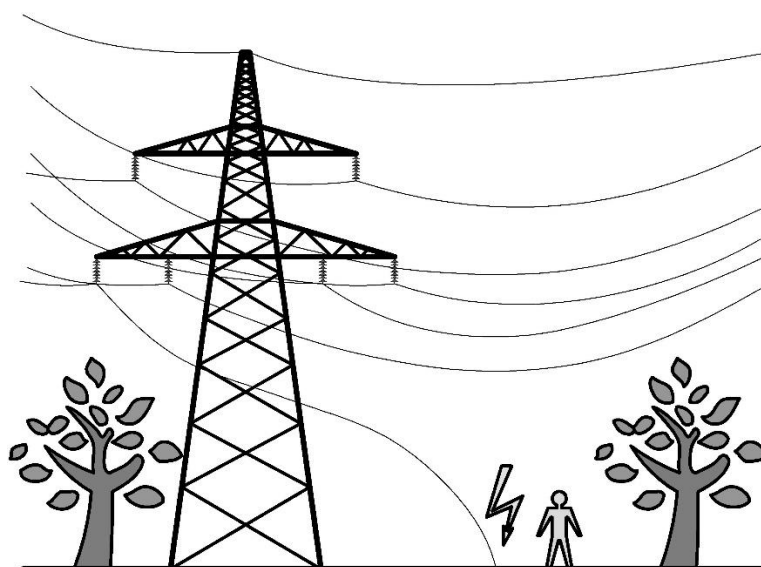


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

## НАПРЯЖЕНИЕ ШАГА И НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе  
по курсу БЖД для бакалавров очной и заочной форм обучения  
всех направлений подготовки



Н. Новгород 2020

Составители: Т.И. Курагина, О.В. Маслеева, Н.С. Конюхова, Е.В. Погодин  
УДК 502.7:621.311.1

Напряжение шага и напряжение прикосновения: Метод. указания к лабораторной работе по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" / НГТУ; Сост.: Т.И. Курагина, О.В. Маслеева, Н.С. Конюхова, Е.В. Погодин. Н.Новгород, 2020. -12 с.

С целью формирования компетенций в сфере профессиональной деятельности, позволяющих выбирать средства достижения безопасных условий существования человека, приведена краткая характеристика напряжения шага и напряжения прикосновения, методика выполнения лабораторной работы и рекомендуемая литература. Методические указания составлены в соответствии с примерной образовательной программой дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» для всех направлений подготовки и форм обучения.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подписано в печать 26.03.2020 Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага газетная.  
Печать офсетная. Усл. п. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.  
603950, г. Нижний Новгород, ул. К. Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е. Алексева, 2020  
© Маслеева О.В и др., 2020

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомится с понятиями напряжение прикосновения и напряжение шага.

Практически исследовать опасность поражения электрическим током в случае, если человек окажется под напряжением прикосновения или напряжением шага.

## **2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Возможность поражения электрическим током — один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражения электрическим током приходится до 40%, а в энергетике - до 60% от общего числа несчастных случаев. Поэтому задача обеспечения электробезопасности занимает ведущее место в проблематике раздела "Электробезопасность" курса "Безопасность жизнедеятельности".

Во всех случаях контакта человека с частями оборудования, нормально или случайно находящимися под напряжением, человек оказывается под "напряжением прикосновения", под которым понимается разность потенциалов между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек.

Если человек находится на грунте вблизи заземлителя, с которого стекает ток, то он может оказаться под "напряжением шага", под которым понимается разность потенциалов между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.

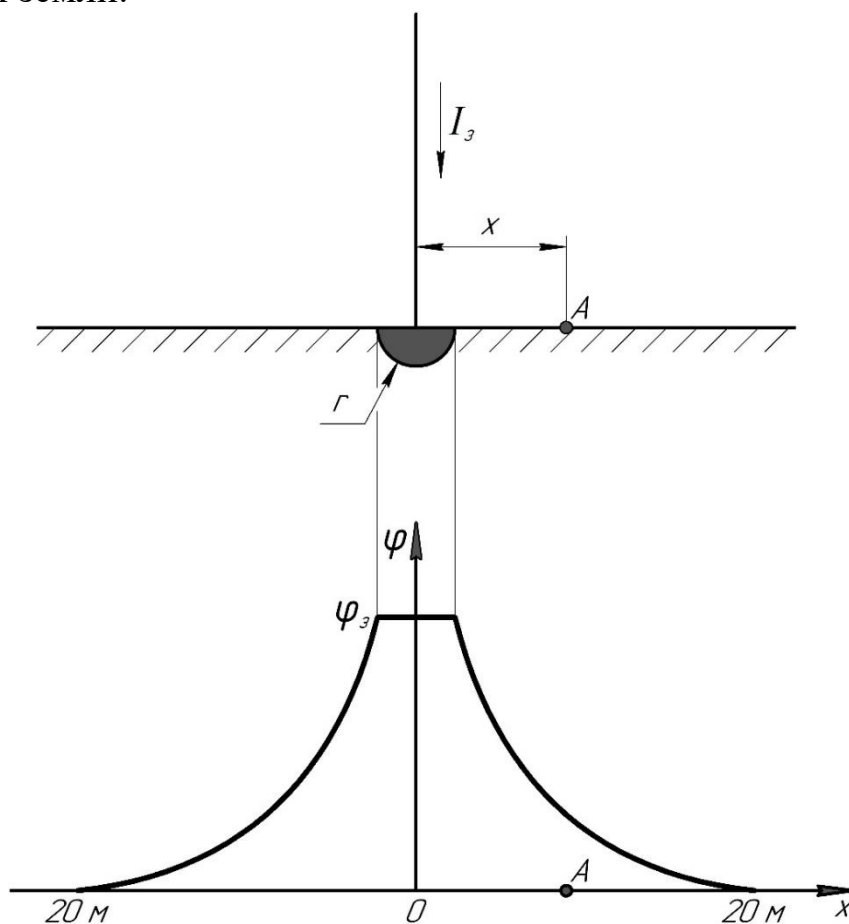
### **3.1. Явления при стекании тока в землю**

Электрическим замыканием на землю называется случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки непосредственно с землей или с металлическими нетоковедущими частями, имеющими контакт с землей. Замыкание на землю может произойти при замыкании токоведущих частей на корпус или при пробое изоляции, при падении провода на землю (рис.1). Стеkanie тока на землю сопровождается появлением потенциала на поверхности грунта вокруг электрода, который осуществляет связь с землей.



**Рис.1 Обрыв провода**

Рассмотрим стекание тока в землю через одиночный электрод полусферической формы и характер распределения потенциала на поверхности земли.



**Рис. 1. Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полусферического заземлителя:**

Ток в земле будет растекаться во все стороны по радиусам полушара. В объеме земли, где проходит ток, возникает "поле растекания тока", которое характеризуется наличием потенциала грунта в любой точке, то есть в пределах поля растекания тока потенциал земли отличен от нуля.

Теоретически оно простирается бесконечно. Однако, в реальных условиях уже на расстоянии 20 м от заземлителя площадь полусферы, по которой растекается ток, становится столь большой, что сопротивление земли можно считать близким к бесконечности. Следовательно, и потенциал земли на расстоянии 20 м практически равен нулю.

Потенциал заземлителя ( $\varphi_3$ ) определяется выражением:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R, \quad (1)$$

где  $I_3$  - ток замыкания на землю,

$R$  - сопротивление заземлителя растеканию тока, которое определяется как суммарное сопротивление самого электрода, переходного сопротивления от электрода к грунту и сопротивления грунта от заземлителя до точки с нулевым потенциалом.

Для полусферического заземлителя сопротивление определяется:

$$R = \frac{\rho}{2\pi r}, \quad (2)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м,  
 $r$  - радиус заземлителя.

Удельное сопротивление грунта - это сопротивление одного кубометра грунта с ребром в 1 метр.

Тогда формула (1) принимает вид:

$$\varphi_3 = I_3 \frac{\rho}{2\pi r}, \quad (3)$$

Потенциал в грунте убывает по гиперболическому закону с увеличением расстояния от заземлителя.

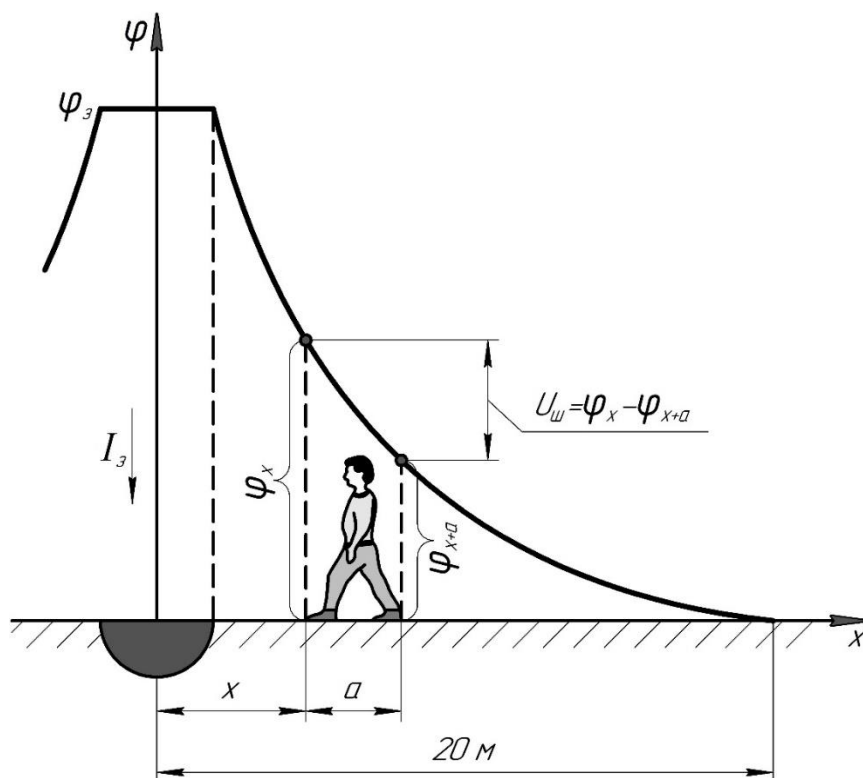
Потенциал в точке А, находящейся на расстоянии  $x$  от заземлителя, определяется:

$$\varphi_x = \varphi_3 \frac{r}{x} = I_3 \frac{\rho}{2\pi x}. \quad (4)$$

### 3.2. Напряжение шага

Человек, находящийся в поле растекания тока заземлителя оказывается под напряжением шага, если его ноги находятся в точках с

разными потенциалами.



**Рис. 2. Напряжение шага**

Пусть человек находится на расстоянии « $x$ » от заземлителя, длина шага равна  $a$  (рис.2). Тогда напряжение шага определяется как разность потенциалов между правой и левой ногами, находящимися в точках с координатами ( $x$ ) и ( $x + a$ ).

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+a} . \quad (6)$$

Потенциал этих точек определяется как:

$$\varphi_x = \varphi_3 \frac{r}{x} = I_3 \frac{\rho}{2\pi x} , \quad (7)$$

$$\varphi_{x+a} = \varphi_3 \frac{r}{x+a} = I_3 \frac{\rho}{2\pi(x+a)} . \quad (8)$$

Отсюда напряжение шага:

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \cdot r \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_3 \cdot \rho \cdot a}{2\pi x \cdot (x+a)} . \quad (9)$$

При  $x \rightarrow \infty$  (практически при  $x \geq 20$  м) напряжение шага равно нулю.

Этот же результат можно получить, если ступни ног человека находятся рядом друг с другом ( $a=0$ ), то есть  $\varphi_x = \varphi_{x+a}$ , отсюда  $U_{\text{ш}} = 0$ .

Максимальное значение напряжения шага получается при  $x=r$  и

составляет:

$$U_{ш} = \varphi_3 \cdot \frac{a}{r + a} \tag{10}$$

Таким образом, напряжение шага зависит от расстояния, на котором находится человек от заземлителя, и от ширины шага.

### 3.3. Напряжение прикосновения

Рассмотрим напряжение прикосновения для человека, который стоит на грунте и касается оказавшегося под напряжением заземленного корпуса. На рис.3 показаны три электроустановки, находящиеся на разном расстоянии от заземлителя. Корпуса всех электроустановок соединены с одним заземлителем. На второй электроустановке произошел пробой изоляции и провод касается корпуса. Протекает ток замыкания на землю  $I_3$ . Сопротивление заземлителя -  $R$ .

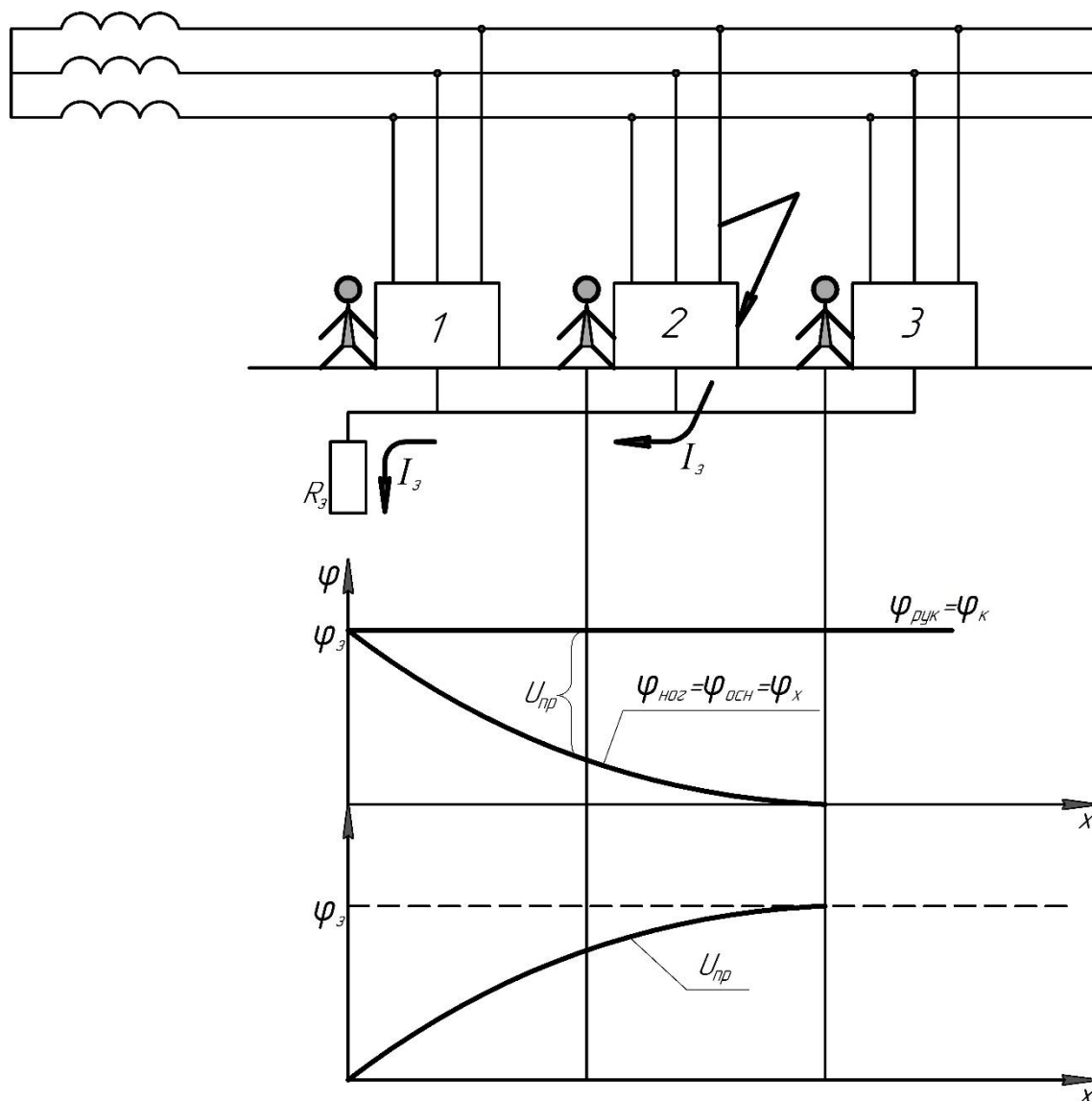


Рис. 3. Напряжение прикосновения

Напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$  может быть определено как разность потенциалов руки ( $\varphi_{\text{рук}}$ ) и ног ( $\varphi_{\text{ног}}$ ):

$$U_{\text{пр}} = \varphi_{\text{рук}} - \varphi_{\text{ног}} \quad (11)$$

Человек касается корпуса, потенциал руки  $\varphi_{\text{р}}$  равен потенциалу корпуса  $\varphi_{\text{к}}$ , который равен потенциалу заземлителя  $\varphi_{\text{з}}$ , т.к. сопротивлениями металлического корпуса, проводов и самого заземлителя можно пренебречь:

$$\varphi_{\text{рук}} = \varphi_{\text{корп}} = \varphi_{\text{з}} = I_{\text{з}} \cdot R \quad (12)$$

Потенциал ног  $\varphi_{\text{ног}}$  равен потенциалу основания земли в точке, где находятся ноги:

$$\varphi_{\text{ног}} = \varphi_{\text{осн}} = \varphi_{\text{х}} = \varphi_{\text{з}} \frac{r}{x} \quad (13)$$

Тогда напряжение прикосновения определяется:

$$U_{\text{пр}} = \varphi_{\text{з}} - \varphi_{\text{з}} \frac{r}{x} = \varphi_{\text{з}} \left(1 - \frac{r}{x}\right) \quad (14)$$

Рассмотрим, как изменяется напряжение прикосновения в зависимости от расстояния до заземлителя:

- электроустановка 1

человек стоит непосредственно над заземлителем ( $x = r$ )

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{рук}} &= \varphi_{\text{з}} \\ \varphi_{\text{ног}} &= \varphi_{\text{з}} \\ U_{\text{пр}} &= \varphi_{\text{з}} - \varphi_{\text{з}} = 0 \end{aligned}$$

- электроустановка 2

человек находится на расстоянии  $X$  от заземлителя

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{рук}} &= \varphi_{\text{з}} \\ \varphi_{\text{ног}} &= \varphi_{\text{з}} \frac{r}{x} \\ U_{\text{пр}} &= \varphi_{\text{з}} \left(1 - \frac{r}{x}\right) \end{aligned}$$

- электроустановка 3

человек находится на расстоянии 20 м от заземлителя



$$\begin{aligned}\varphi_{\text{рук}} &= \varphi_3 \\ \varphi_{\text{ног}} &= 0 \\ U_{\text{пр}} &= \varphi_3\end{aligned}$$

Графически это отображено на рис. 3.

Таким образом, наиболее безопасным является прикосновение к корпусу первой электроустановки. Поэтому для уменьшения напряжения прикосновения в случае пробоя на корпус заземлитель необходимо располагаться как можно ближе к электроустановке.

#### 4. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

На лабораторном стенде измерить потенциалы на поверхности земли на различном расстоянии от заземлителя, построить график  $\varphi = f(x)$  и графически определить напряжение шага в заданных точках.

Измерить ток замыкания и потенциалы на поверхности земли для трех электроустановок. Рассчитать напряжение прикосновения.

Построить графики  $\varphi_{\text{рук}} = f(x)$ ,  $\varphi_{\text{ног}} = f(x)$ ,  $U_{\text{пр}} = f(x)$ .

#### 5. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд предназначен для изучения напряжения шага и напряжения прикосновения (рис.4).

Стенд включает в себя выключатели:

V1 - подключение стенда к сети,

V2 - замыкание на полусферический заземлитель для измерения потенциала земли,

V3 - замыкание на корпус электроустановки для измерения тока замыкания;

вольтметр - для измерения потенциала земли;

амперметр - для измерения тока замыкания;

R - сопротивление заземлителя,  $R = 4 \text{ Ом}$

#### 6. ОХРАНА ТРУДА

При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по охране труда, общие для лабораторий.

К стенду подведено напряжение 24 В. Включить стенд можно только с разрешения преподавателя.

При наличии неисправностей стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

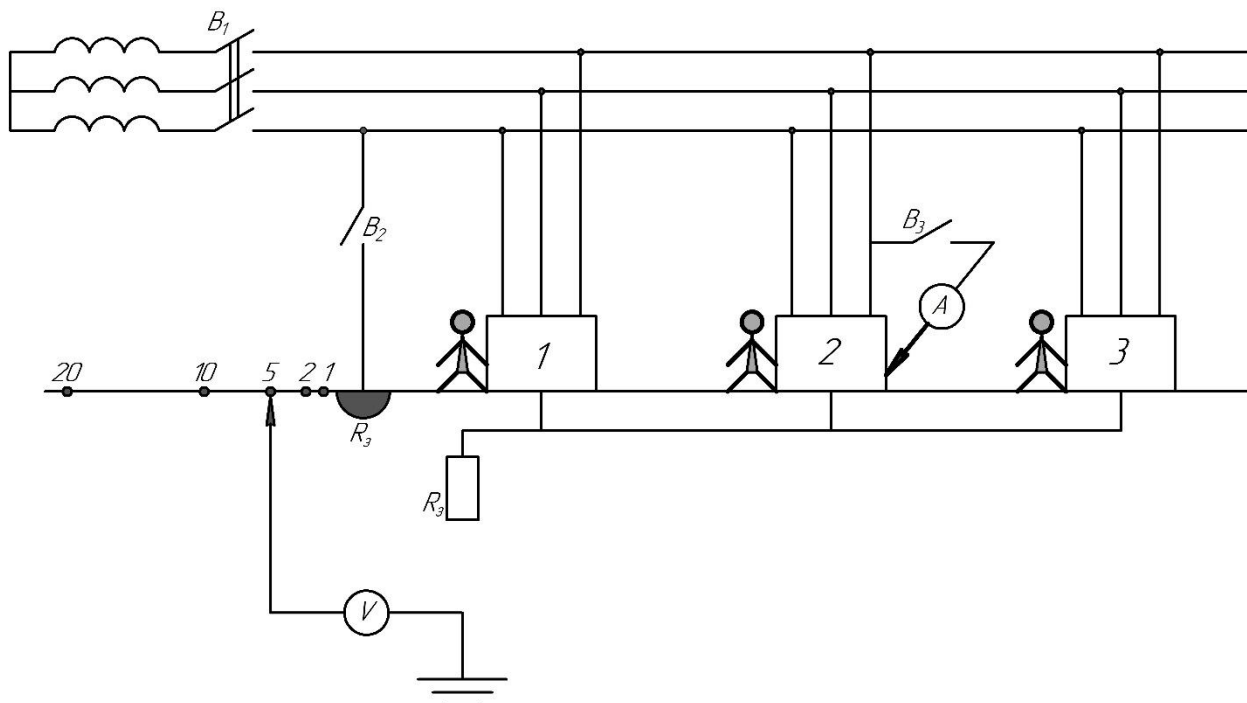


Рис. 4. Схема лабораторного стенда

## 7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТА РАБОТЫ

### 7.1. Напряжение шага.

- подключить стенд к сети, включить  $B_1$ ;
- замкнуть фазу  $A$  на полусферический заземлитель для появления потенциала на поверхности грунта, - включить  $B_2$ ;
- с помощью вольтметра замерить потенциал на заземлителе и потенциалы в точках на расстоянии от заземлителя 1 м, 2 м, 5 м, 10 м, 20 м; результаты замеров записать в табл.1;
- отключить  $B_2$ ;
- построить график  $\varphi = f(x)$ ;
- по графику определить напряжение шага в точках  $x = 0$ ,  $x = 5$  м,  $x = 20$  м.  
Принять величину шага  $a = 1$  м.

Таблица 1

Результаты замеров напряжения шага

Расстояние от заземлителя $x$ , м	0	1	2	5	10	20
Потенциал $\varphi$ , В						
Напряжение шага $U_{ш}$ , В		—	—		—	

Сделать выводы:

- о зависимости величины потенциала на поверхности земли от расстояния до заземлителя,

- зависимости напряжения шага от расстояния до заземлителя.

## 7.2. Напряжение прикосновения

- замкнуть фазу А на корпус второй электроустановки - включить ВЗ;
- с помощью амперметра измерить ток замыкания на землю;
- с помощью вольтметра измерить потенциал основания земли около электроустановок 1, 2 и 3. Результаты замеров записать в табл.2;
- выключить ВЗ;
- рассчитать потенциал на корпусе по формуле (12);
- рассчитать напряжение прикосновения по формуле (11);
- результаты замеров занести в табл.2;
- построить графики  $\varphi_{рук} = f(x)$ ,  $\varphi_{ног} = f(x)$ ,  $U_{пр} = f(x)$ .

Таблица 2

Результаты замеров напряжения прикосновения

Параметры	Электроустановка		
	1	2	3
Расстояние до заземлителя $x$ , м	0	10	20
Ток замыкания на землю $I_3$ , А	—		—
Потенциал на корпусе $\varphi_k$ , В			
Потенциал основания $\varphi_{осн}$ , В			
Напряжение прикосновения $U_{пр}$ , В			

Сделать вывод:

- оценить безопасность прикосновения к корпусу электроустановки, оказавшемуся под напряжением, в зависимости от расстояния до заземлителя.

**Отчет должен содержать:**

- цель работы;
- полученные результаты в виде таблиц 1 и 2;
- график зависимости потенциала от расстояния  $\varphi = f(x)$ ;
- график зависимости  $\varphi_{рук} = f(x)$ ,  $\varphi_{ног} = f(x)$ ,  $U_{пр} = f(x)$ .
- выводы.

## 8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В каком случае на поверхности земли появляется потенциал?
2. От каких факторов зависит величина этого потенциала?
3. Что такое напряжение шага?
4. Чем определяется величина напряжения шага?

5. Меры защиты от напряжения шага.
6. Что такое напряжение прикосновения?
7. Как зависит напряжение прикосновения от расстояния электроустановки до заземлителя?
8. Меры защиты от напряжения прикосновения.

## **9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. В.Е. Манойлов Основы электробезопасности / В.Е. Манойлов. - М.: Энергия, 2019. - 320 с.
2. Л.П. Шариков Обеспечение электробезопасности при напряжении до 1000 В / Л.П. Шариков. - М.: Альфа-пресс, 2017. - 374 с.
3. Ю.Д. Сибикин Охрана труда и электробезопасность / Ю.Д. Сибикин. - М.: ИП РадиоСофт, 2019. - 448 с.