

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Нижегородский государственный
технический университет им. Р. Е. Алексеева

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине БЖД
для студентов всех специальностей

Нижегород
2014

2

УДК 658.345.43

Защитное заземление: Метод. указания к лаб. работе по курсу БЖД для студентов всех специальностей /НГТУ; Сост.: Миндрин В.И., Конюхова Н.С. Н.Новгород, 2014. 11 с.

1. Цель работы

Получение практических навыков по расчету и устройству защитного заземления электрических установок (ЭУ).

2. Теоретическая часть

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение металлических не токоведущих частей электрооборудования с землей посредством заземляющих устройств с целью обеспечения электробезопасности.

Заземляющее устройство состоит из заземлителей и заземляющих проводников. Заземлители выполняются из металлических электродов в виде стальных стержней, труб, уголков или полос, погруженных в землю или расположенных на поверхности грунта.

В качестве искусственных заземлителей обычно используются стальные стержни диаметром от 12 до 20 мм, трубы диаметром от 32 до 60 мм или уголки размером 40 x 40 мм, или 60 x 60 мм длиной от 2 до 10 метров.

Вертикальные заземлители, погруженные в грунт, соединяются стальной полосой, которая приваривается к каждому заземлителю.

В самих производственных помещениях прокладываются магистрали заземления из стальной полосы сечением 100-120 мм², которая соединяется с защитным заземлением не менее, чем в 2-х местах при помощи сварки. Присоединение корпусов ЭУ к заземляющим проводникам выполняется также при помощи сварки или надежного болтового соединения.

Согласно “Правил устройств электроустановок” (ПУЭ) область применения защитного заземления следующая:

1. во всех электроустановках при напряжениях 380 В и выше в сетях переменного тока и 440 В и выше в сетях постоянного тока.

2. В производственных помещениях с повышенной электрической опасностью и в особо опасных II и III категориях, а также в наружных установках при напряжениях 42 В и выше в сетях переменного тока и 110 В и выше в сетях постоянного тока.

3. В помещениях взрывоопасных категорий А, Б, а также в электросварочном оборудовании независимо от величины напряжений в сетях переменного или постоянного токов.

Согласно ПУЭ защитное заземление следует применять в схемах с изолированной нейтралью в источнике питания. Сопротивление защитного заземления R_3 в сетях напряжением до 1000 В не должно превышать 4 Ом, если мощность источников питания (генераторов, трансформаторов) более 100 кВА, если мощность источников питания равна или меньше 100 кВА сопротивление R_3 не должно превышать 10 Ом. В сетях напряжением более 1000 В (например, на ЛЭП 110 кВ и выше) сопротивление R_3 не должно превышать 0,5 Ом.

Принцип действия защитного заземления рассмотрен на примере электрической установки, включенной в 3-х фазную сеть с изолированной нейтралью, см.рис.2.1.

Если проводник фазы А замыкается на корпус электроустановки, имеющей защитное заземление и которой касается человек, то корпус ЭУ окажется

под напряжением. Из корпуса электрический ток будет истекать в землю по двум проводникам: через тело человека и защитное заземление. После растекания электрического тока в земле, как это показано на кривой 3 рис.2.1, ток возвращается в нейтральную точку “О” эл. схемы, преодолевая сопротивление изоляции двух других фазных проводников Z_B и Z_C .

1 - заземляющий проводник;

2 - заземлитель стержневой;

3 - кривая растекания тока в земле;

I_3 - ток замыкания на заземлитель, А;

R_3 - сопротивление заземляющего устройства, Ом;

I_h - ток, проходящий через человека, А;

R_h - сопротивление человека (активное), Ом;

$U_{пр}$ - напряжение прикосновения, В;

U_3 - напряжение на заземлителе, В;

$\varphi_{ос}$ - потенциал основания в помещении;

α - коэффициент прикосновения, зависит от расстояния x между местом основания, на котором стоит человек и заземлителем и изменяется от 0 до 1;

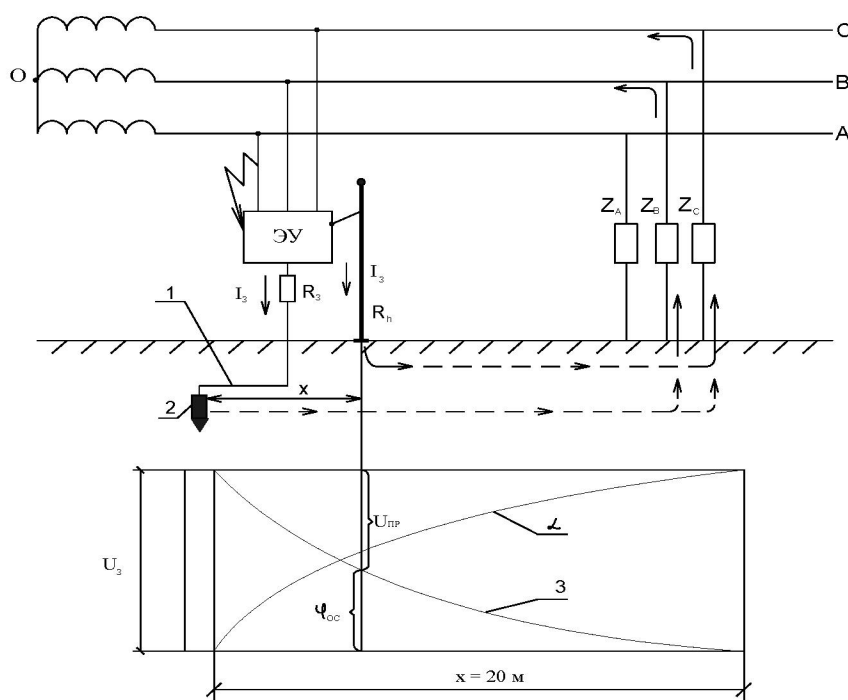


Рисунок 1 Схема защитного заземления электроустановки (ЭУ)

Наибольшая безопасность на ЭУ с защитным заземлением достигается в 3-х фазных электрических сетях с изолированной нейтралью. При этом величина тока через человека определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_{\phi} \cdot R_3 \cdot \alpha}{(R_3 + \frac{Z}{3}) \cdot R_h}, \text{ А,} \quad (2.1)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение, В;

R_3 - сопротивление защитного заземления, Ом

α – коэффициент прикосновения ($\alpha = 0 \dots 1$), $Z = Z_A = Z_B = Z_C$

Z – полное сопротивления изоляции фазных проводников, активная составляющая которого по нормам ПУЭ должна быть не менее 0,5 или 10

МОм ($5 \cdot 10^5$ или 10^7 Ом) в зависимости от напряжения, вида оборудования и защиты.

R_h - сопротивление человека, принимаемое в расчетах 1000 Ом.

Таким образом, для эффективной работы защитного заземления следует не только правильно рассчитать сопротивление R_3 и определить число заземлителей, но и правильно расположить их относительно рабочих мест. Для этого в производственных помещениях применяется техническая мера защиты - выравнивание потенциала основания, при котором используется контурное заземление. Устанавливается сетка из вертикальных заземлителей и соединительных полос, подсоединенных к корпусам электроустановок. При замыкании фазы на корпус любой ЭУ на поверхности основания помещения образуется более или менее равный потенциал, близкий по своему значению к потенциалу замкнутого корпуса, т.е. $\varphi_{oc} \approx \varphi_k$.

Подобная мера защиты приводит к снижению не только напряжения прикосновения $U_{пр}$, но и напряжение шага $U_{ш}$, т.к. разность потенциалов между двумя точками на основании будет равна нулю или сведена к минимуму.

В том случае, если производственное помещение расположено на скальном грунте с большим удельным сопротивлением или под помещением проложены разветвленные кабельные или трубопроводные трассы, что делает установку заземлителей внутри помещения технологически не возможной, применяется выносное заземление. В этом случае заземлители удаляются от производственного помещения до места, где грунт имеет наименьшее удельное сопротивление (глинистые, сырые почвы, в низинах) или создают его искусственно. Основным недостатком выносного заземления - снижение защитного свойства из-за увеличенного значения коэффициента прикосновения α , так как при расстоянии $x \geq 20$ метров $\alpha = 1$.

Поэтому защитное заземление выносного типа применяется при малых токах замыкания в установках до 1000 В.

3. Описание лабораторной установки

На стенде представлена схема измерения сопротивления вспомогательного электрода R_x с помощью прибора М-416, необходимого для определения удельного сопротивления грунта ρ , Ом · м.

Измерение R_x производится в следующем порядке. В начале следует убедиться в исправности самого прибора М-416, для чего на отключенном от сети прибор-релепереключатель установить в положение “Контроль 5 Ом”.

Затем нажать на красную кнопку и ручной “Реохорд” подвести стрелку индикатора в вертикальное положение. Показание прибора должно быть равным $5 \pm 0,3$ Ом. После этого прибор подключить тремя проводниками в соответствующие

гнезда на стенде, затем выполнить измерения R_x , переводя переключатель с положения “Контроль 50м” в рабочее положение, при котором стрелка индикатора, после нажатия красной кнопки и вращением ручки “Реохорд” займет вертикальное положение.

Умножив показания прибора на соответствующий масштаб, получим искомую величину сопротивления вспомогательного электрода R_x .

4. Техника безопасности

Соблюдать правила техники безопасности на электроустановках и при пользовании приборами. Сообщать преподавателю обо всех неполадках в работе оборудования, не устраняя самостоятельно дефекты. Бережно относиться ко всему оборудованию в лаборатории.

5 Задание к работе

Выполнить расчет заземляющего устройства, для чего получить задание от преподавателя на схему расположения электродов защитного заземления в грунте из рис.3.1., схема а, б, в или г с размерами конструктивных параметров.

Нарисовать схему расположения электрода в грунте согласно заданию с конкретными размерами из рис.3.1.

В практической части выполнить расчет сопротивления защитного заземления, самостоятельно приняв решение о расположении их в ряд или по контуру. Сделать вывод по работе. Подготовиться и устно ответить на вопросы параграфа 7.

Размеры конструктивных параметров

Схема а	Схема б	Схема в	Схема г - профиль
$d_1=d=0,012$ м	$d_1=d=0,04$ м	$d_1=d=0,04$ м	$l_1=l=3$ м
$l_1=l=5$ м	$l_1=l=3$ м	$l_1=l=3$ м	$b=0,04$ м
$b=0,04$ м	$H_0=0,7$ м	$b=0,04$ м	$H=0,5$ м
$H_{\text{пол}}=0,5$ м	$b=0,04$ м	$a=2l$	$a=2l$
$a=2l$	$a=2l$	$H_{\text{пол}}=0,5$ м	$H_{\text{пол}}=0,5$ м
	$H_{\text{пол}}=0,9$ м		
	$H=H_0+l/2$		

Схема расположения электродов защитного заземления.

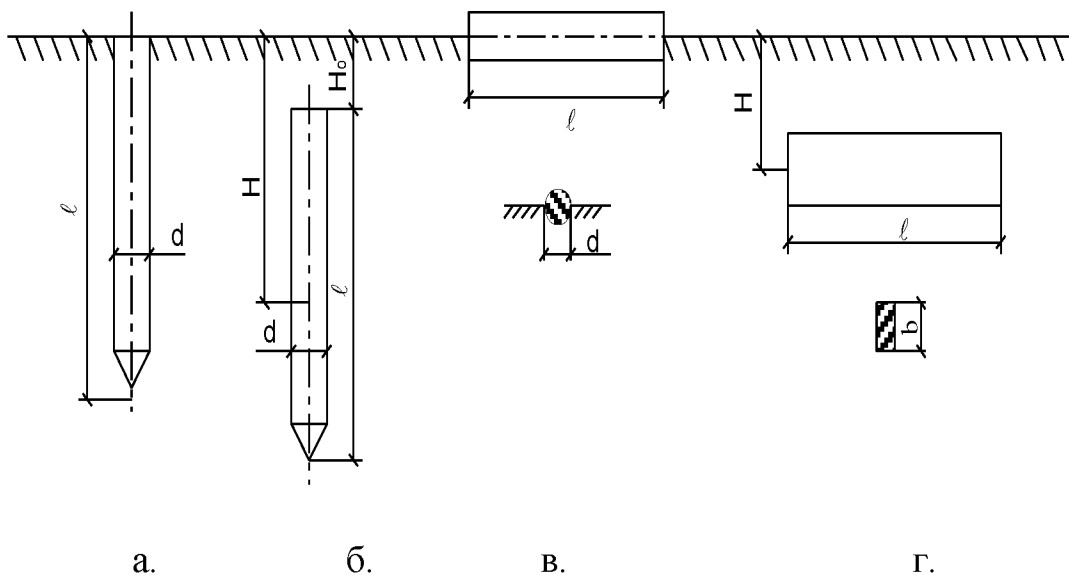


Рис. 3.1

6. Порядок выполнения работы

6.1. Определить удельное сопротивление грунта по формуле:

$$\rho_{\text{изм}} = 2\pi \frac{R_x \cdot l_1}{\ln \frac{4l_1}{d_1}}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \quad (6.1)$$

где R_x - сопротивление вспомогательного электрода, измеряемое прибором М-416 по методике, описанной в параграфе 4 методического указания, Ом;

d_1 - длина и диаметр вспомогательного электрода, м, даны на схеме в задании.

По найденному значению $\rho_{\text{изм}}$ выбрать грунт, пользуясь таблицей 1 в “Приложении”.

6.2. Определить расчетное удельное сопротивление грунта по формуле:

$$\rho_{\text{рас}} = \rho_{\text{изм}} \cdot \varphi, \quad (6.2)$$

где φ - климатический коэффициент выбирается самостоятельно из таблицы (2) в “Приложении”, в зависимости от влажности грунта.

6.3. Выполнить расчет сопротивления вертикальных электродов или горизонтально расположенных полос в грунте в соответствии с заданием по одной из формул:

6.3.1. Заземлитель вертикальный трубчатый или стержневой, расположенный на поверхности грунта (рис.3.1, схема а)

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell} \ln \frac{4\ell}{d}, \text{ Ом}, \quad (6.3)$$

где ℓ , d - длина и наружный диаметр электрода защитного заземления, м (даны в задании)

6.3.2. Заземлитель вертикальный трубчатый или стержневой, заглубленный в грунте (рис.3.1, схема б)

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell} \left(\ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + \ell}{4H - \ell} \right), \text{ Ом}, \quad (6.4)$$

где ℓ и d - длина и наружный диаметр электрода защитного заземления, м (даны в задании)

H - глубина расположения центр электрода, определяемая расчетом из рис.3.1, схема б.

6.3.3. Заземлитель круглого сечения трубчатый или стержневой на поверхности грунта, рис.3.1, схема в

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell}{d}, \text{ Ом}, \quad (6.5)$$

где ℓ и d - длина и наружный диаметр электрода защитного заземления, м (даны в задании)

6.3.4. Заземлитель протяженный - полоса в грунте, рис.3.1, схема г

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell^2}{b \cdot H}, \text{ Ом}, \quad (6.6)$$

где ℓ , b , H - длина, ширина и глубина залегания полосы, м (даны в задании).

6.4. Определить необходимое количество электродов

$$n = \frac{R_{\text{тр}}}{R_{\text{доп}}}, \text{ шт.}, \quad (6.7)$$

где $R_{\text{доп}}$ - допустимое сопротивление защитного заземления, принимаем $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$.

Полученные дробное число n - округлить до целого большего числа.

6.5. Определить сопротивление соединительной полосы между электродами по формуле:

$$R_{\text{пол}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell_{\text{пол}}} \cdot \ln \frac{2\ell_{\text{пол}}^2}{b \cdot H_{\text{пол}}}, \text{ Ом}, \quad (6.8)$$

где $\ell_{\text{пол}}$ - длина соединительной полосы, м, определяемая в зависимости от расположения заземлителей.

$\ell_{\text{пол}} = 1,05 \cdot a \cdot n$ - расположение по контуру

$\ell_{\text{пол}} = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1)$ - расположение в ряд;

Расположение заземлителей принять самостоятельно.

a - расстояние между заземлителями, м, принимаемое из таблицы 3 в “Приложении”; дано в задании

b - ширина соединительной полосы;

$H_{\text{пол}}$ - глубина залегания соединительной полосы (дана в задании).

6.6. Определить общее сопротивление защитного сопротивления по формуле:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{пол}} R_{\text{тр}}}{R_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{пол}} + R_{\text{пол}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot n}, \text{ Ом}, \quad (6.9)$$

где $\eta_{\text{пол}}$, $\eta_{\text{тр}}$ - коэффициенты использования заземлителей, выбираемые из таблиц 3 и 4 в “Приложении”.

Полученное значение $R_{\text{общ}}$ сравнить с допустимым сопротивлением. В случае значительного уменьшения $R_{\text{общ}}$ от допустимого значения количество заземлителей уменьшить из экономических соображений, сделав поправочный расчет.

7. Указания к составлению отчета

Отчет составляется один на бригаду, в котором необходимо указать номер и название работы, фамилии и инициалы студентов и номер группы.

В теоретической части привести схему электрической установки с защитным заземлением и график растекания тока в земле, согласно рис.2.1.

Литература

1. Охрана труда (под ред. Б.А. Князевского). - М.: Высшая школа, 1982.
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках - М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Правила устройства электроустановок - (ПУЭ).- М.: Энергоатомиздат, 1986.

Таблица 1 - Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов

Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м
1. Песок	100-700
2. Супесок	150-400
3. Лесс	100-300
4. Суглинок	40-150
5. Садовая земля	20-60
6. Глина	8-70
7. Чернозем	9-53
8. Торф	10-30

Таблица 2 - Значение расчетных климатических коэффициентов сопротивления грунта

Характер грунта	φ_1	φ_2	φ_3
Суглинок	2,0	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6 м ниже слой глины	-	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже глина	1,3	1,2	1,1
Известняк	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	1,5	1,3	1,2
Торф	1,4	1,1	1,0
Песок	2,4	1,56	1,2
Глина	2,4	1,36	1,2

Коэффициент φ_1 изменяется, если грунт влажный, измерения предшествовало выпадение большого количества осадков; φ_2 - если грунт нормальной влажности, измерению предшествовало выпадение небольшого количества осадков.

Таблица 3 - Коэффициент использования $\eta_{тр}$ заземлителей из труб или уголков без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число труб	$\eta_{тр}$	Число труб (уголков)	$\eta_{тр}$
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,8	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,5
	15	0,51-0,56	40	0,38-0,44
	20	0,47-0,5	60	0,36-0,42
2	2	0,9-0,52	4	0,76-0,8
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,73	40	0,55-0,61
	20	0,65-0,7	60	0,52-0,58

Таблица 4 - Коэффициент использования $\eta_{пол}$ соединительной полосы заземлителей из труб или уголков

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб или уголков					
	4	8	10	20	30	50
	При расположении полосы в ряду труб					
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
	При расположении полосы по контуру труб или уголков					
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,4	0,32	0,3	0,28