

678

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. Ф. Э. ДЗЕРЖИНСКОГО

Кафедра охраны труда

**ИССЛЕДОВАНИЕ
УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ
В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

**Методические указания
к учебно-исследовательской
лабораторной работе № 14**

Москва 1990

678

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. Ф. Э. ДЗЕРЖИНСКОГО

Кафедра охраны труда

Утверждено
редакционно-издательским
советом института

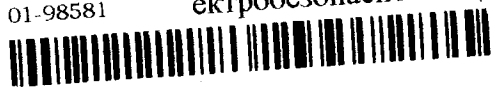
**ИССЛЕДОВАНИЕ
УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ
В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

Методические указания
к учебно-исследовательской
лабораторной работе № 14

по дисциплине
«ОХРАНА ТРУДА»

М.У.
№ 678
01-98581

Сколотнев Н.Н. уч.6
Исследование условий эл
ектробезопасности в 90



Москва 1990

МИИТ НТБ
УЧЕБНАЯ
БИБЛИОТЕКА

Методические указания подготовлены кандидатами техн. наук доцентами Н. Н. Сколотневыми и М. П. Филипченко.

Рецензенты: канд. техн. наук доц. В. К. Крылов (ВЗИИТ), препод. В. И. Швед (Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова).

Цель работы — изучить влияние параметров сетей с изолированной нейтралью на условия электробезопасности, а также ознакомиться с мерами по предупреждению поражения человека электрическим током в аварийном режиме работы электроустановки.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. КРИТЕРИИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

При прикосновении человека к частям электроустановок, находящихся под напряжением, возможно протекание электрического тока через тело человека, что может явиться причиной электротравмы. Протекающий через человека ток, в зависимости от его величины, вызывает различные ответные реакции организма. В соответствии с ними установлена следующая классификация токов: осязаемый, неотпускающий, фибрилляционный. Наименьшие значения этих токов, вызывающие соответствующие реакции, принято называть пороговыми значениями, величины которых имеют случайный характер.

В общем случае характер воздействия и исход поражения зависят от величины тока, пути протекания, длительности воздействия, рода тока, частоты и других факторов.

Для пути протекания тока «рука-рука» допустимые токи и напряжения прикосновения, установленные ГОСТ 12.1.038—82, представлены в табл. 1—3.

Таблица 1

Неосытительные токи и напряжения прикосновения при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки

Род тока	U , В	I , мА
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Таблица 2

Отпускающие токи и напряжения прикосновения
при продолжительности воздействия до 30 с

Род тока	U , В	I , мА
Переменный, 50 Гц	36	6
Переменный, 400 Гц	36	8
Постоянный	40	15

Таблица 3

Нефибрилляционные токи и напряжения прикосновения
в зависимости от продолжительности воздействия до 1 с

Род тока	Нормируе- мая величина	Продолжительность воздействия t , с					
		0,01 ÷ 0,08	0,1	0,2	0,5	0,8	1,0
Переменный, 50 Гц	U , В	650	500	250	100	65	50
	I , мА	650	500	250	100	65	50
Переменный, 400 Гц	U , В	650	500	500	200	130	100
	I , мА	650	500	500	200	130	100
Постоянный	U , В	650	500	400	250	220	200
	I , мА	650	500	400	250	220	200

1.2. ОПНОФАЗНОЕ ПРИКОСНОВЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА К ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

При непосредственном прикосновении человека к одной из фаз трехфазной сети ток через тело человека может протекать только при наличии проводимости между фазами сети и землей. В силу несовершенства изоляции между фазами и землей имеет место активная проводимость $g = 1/R_{из}$, где $R_{из}$ — сопротивление изоляции фазы относительно земли. Если на единицу длины исправной линии активная проводимость равна g_0 , то при длине линии l активная проводимость одного провода относительно земли $g = g_0 \cdot l$.

Кроме того, существует реактивная проводимость фаз, обусловленная емкостью проводов относительно земли, величина которой на единицу длины составляет C_0 . Тогда при длине линии l реактивная проводимость фазы относительно земли $b_c = \omega C = \omega \cdot l \cdot C_0$.

В табл. 4 представлены удельные значения проводимости и емкости линии в зависимости от вида и исполнения сети.

Таким образом, ток, протекающий через тело человека, будет зависеть от состояния изоляции проводов и протяженности сети.

Таблица 4

Удельные составляющие активной и емкостной проводимостей электропроводок

№ п/п.	Электропроводка	Активная составляющая проводимости изоляции g_0 , См/м	Емкость фазы C_0 , мкФ/м
1'	Кабель СШТ	$12 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
2	Кабель КРПТ	$3,6 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
3	Кабель МРПС	$13,3 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
4	Воздушная линия с горизонтальным расположением проводов до 1 000 В	—	$0,1 \cdot 10^{-4}$
5	То же, выше 1 000 В	—	$0,08 \cdot 10^{-4}$

Если обозначить через $Y_i = g_i + jb_i$ общую проводимость i фазы относительно земли, то величина тока, протекающего через тело человека, коснувшегося фазы 1 (рис. 1),

$$i_{\text{ч}} = U \cdot g_{\text{ч}} \frac{Y_2(1-a^2) + Y_3(1-a)}{g_{\text{ч}} + Y_1 + Y_2 + Y_3},$$

где U — фазное напряжение сети, В;

$g_{\text{ч}} = 1/R_{\text{ч}}$ — проводимость тела человека, См; $R_{\text{ч}}$ — сопротивление тела человека, Ом.

a — фазный множитель, равный e^{j120} .

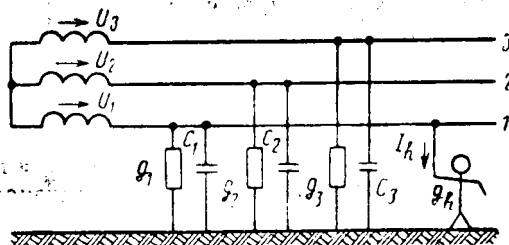


Рис. 1. Схема однофазного прикосновения человека в сети с изолированной нейтралью

Учитывая, что протяженность фаз трехфазной сети практически одинакова, можно принять $g_1 = g_2 = g_3 = g = \frac{1}{R_{из}}$; $C_1 = C_2 = C_3 = C$, тогда $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y$ и величина тока, протекающего через тело человека (его модуль),

$$I_{ч} = 3U \sqrt{\frac{1 + \omega^2 C^2 R_{из}^2}{(3R_{ч} + R_{из}^2)^2 + 9\omega^2 C^2 R_{из}^2 R_{ч}^2}} \quad (1)$$

В случае воздушной линии незначительной протяженности емкостью сети можно пренебречь ($C_1 = C_2 = C_3 = 0$), тогда (1) примет вид

$$I_{ч} = \frac{3U}{R_{из} + 3R_{ч}} \quad (2)$$

Из данного выражения можно найти критическое значение сопротивления изоляции $R_{из} = R_{кр}$, при котором ток через тело человека достигает заданного допустимого значения:

$$R_{кр} = \frac{3U}{I_{ч доп}} - 3R_{ч} \quad (3)$$

где U — в вольтах, $I_{ч доп}$ — в миллиамперах, $R_{ч}$ и $R_{кр}$ — в килоомах.

В случае идеальной изоляции $R_{из} = \infty$ и наличии одной только емкости величина тока, протекающего через тело человека,

$$I_{ч} = \frac{3U\omega C}{\sqrt{1 + 9\omega^2 R_{ч}^2 C^2}} \quad (4)$$

Из (4) можно найти значение критической емкости, при которой ток, протекающий через тело человека, достигает заданного допустимого значения:

$$C_{кр} = \frac{I_{ч доп}}{3\omega \sqrt{U^2 - I_{ч доп}^2 R_{ч}^2}} \quad (5)$$

Из представленных выражений тока, протекающего через тело человека, коснувшегося токоведущих частей электроустановки, видно, что тяжесть электротравмы определяется параметрами сети — напряжением, сопротивлением изоляции и емкостью сети относительно земли.

1.3. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Металлические части электрических установок, нормально изолированные от токоведущих частей, при повреждении изоляции (замыкание фазы на корпус) оказываются под напряжением относительно «земли». В этих аварийных условиях прикосновение человека к нетоковедущим частям установок (рис. 2) равноценно прикосновению к токоведущим частям ($I_3 = I_4$) и исход электротравмы в сетях с изолированной нейтралью определяется параметрами сети.

Для защиты человека при переходе напряжения на нетоковедущие части установок применяют защитное заземление.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Защитное заземление осуществляется с помощью специальных заземляющих устройств (ЗУ).

Назначение ЗУ заключается в том, чтобы создать между корпусом и землей соединение с достаточно малым сопротивлением. Согласно ПУЭ в электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление ЗУ $R_{ЗУ}$ не должно превышать 4 Ом. При мощности источника 100 кВА и менее сопротивление ЗУ может быть увеличено до 10 Ом.

В электроустановках свыше 1000 В сопротивление ЗУ нормируется в зависимости от величины однофазного тока замыкания на землю I_3 . При токах $I_3 \geq 500$ А, $R_{ЗУ} \leq \leq 0,5$ Ом; при $I_3 \leq 500$ А, $R_{ЗУ} \leq \frac{250}{I_3}$, но не более 10 Ом.

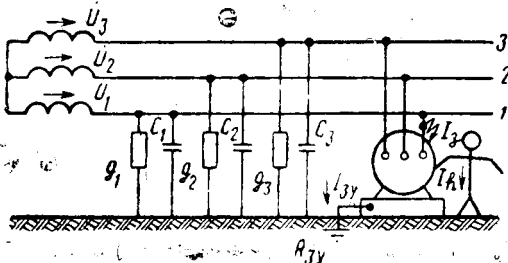


Рис. 2. Схема прикосновения человека к заземленному корпусу электроустановки

Так как сопротивление человека $R_{\text{ч}}$ значительно больше сопротивления $R_{3\text{з}}$ и включено параллельно ему, то можно считать, что $I_{\text{ч}} \ll I_{3\text{з}}$, тогда $I_3 \approx I_{3\text{з}}$, и его можно найти из выражений (1), (2), (4), в которых вместо величины $R_{\text{ч}}$ фигурирует сопротивление $R_{3\text{з}}$. Величина же тока, протекающего через тело человека, при наличии защитного заземления

$$I_{\text{ч}} = I_3 \frac{R_{3\text{з}}}{R_{\text{ч}}} \quad (6)$$

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1. Ознакомиться с руководством, со всеми элементами управления и измерительными приборами стенда, моделирующего электрическую сеть с изолированной нейтралью (указания на рабочем месте).

2. Определить критическое активное сопротивление изоляции для заданного преподавателем тока через тело человека и напряжения сети. При этом емкости фаз относительно земли не учитываются, т. е. $C_1 = C_2 = C_3 = 0$. Реально такая ситуация соответствует короткой воздушной линии, условия электробезопасности для которой определяются в основном активным сопротивлением изоляции фаз относительно земли.

Экспериментальная часть заключается в измерении на модели сети тока, протекающего через тело человека $I_{\text{ч}}$, в зависимости от активного сопротивления изоляции фаз $R_{\text{из}}$. С этой целью следует сопротивления изоляции всех фаз устанавливать одинаковыми: $R_1 = R_2 = R_3 = R_{\text{из}}$ и по показанию измерительного прибора определять величину тока, протекающего через тело человека. Полученные значения занести в табл. 5.

Таблица 5

Зависимость тока, протекающего через тело человека, от активного сопротивления изоляции фаз

$R_{\text{из}}$, кОм	1,0	2,0	3,0	10,0	20,0	50,0	100,0
$I_{\text{ч}}$, мА							

По данным табл. 5 построить график зависимости тока, протекающего через человека, от активного сопротивления изоляции фаз $I_{ч} = f(R_{из})$. Из полученной зависимости для тока, заданного преподавателем, графически определить критическое сопротивление изоляции фаз. Ввести в ЭВМ программу расчета $R_{кр}$, алгоритм которой реализован по (3). Порядок расчета на ЭВМ указан на рабочем месте лабораторной работы.

По заданию преподавателя исследовать теоретическую зависимость $R_{кр}$ от напряжения сети U , сопротивления тела человека $R_{ч}$, тока через него. Сделать вывод по данному исследованию.

3. Определить критическую емкость фаз относительно земли для принятого тока через человека. При этом активное сопротивление фаз на стенде устанавливаются максимальным, т. е. $R_1 = R_2 = R_3 = R_{из} = R_{max}$.

Изменяя емкость C , снять зависимость $I_{ч} = f(C)$. Отметим, что в диапазон измерения величины тока, проходящего через человека, должно войти значение заданного преподавателем тока. Данные эксперимента представить в табл. 6 и построить график $I_{ч} = f(C)$.

Т а б л и ц а 6

Зависимость тока, протекающего через тело человека, от емкости фаз относительно земли

$C_1 = C_2 = C_3 = C$, мкФ						
$I_{ч}$, мА						

Из полученного графика для $I_{ч}$, заданного по условиям электробезопасности, определить критическую емкость и сравнить ее с расчетной, вычисленной по (5). Для данной критической емкости рассчитать длину электропроводки в зависимости от вида и исполнения сети. Используя ЭВМ, провести исследование зависимости критической емкости от входящих в (5) параметров. Исследуемые параметры задаются преподавателем.

Ввести в ЭВМ программу расчета $I_{ч}$ в функции параметров сети. Рассчитать значение тока через человека при $R_{кр}$ и $C_{кр}$ и по заданию преподавателя исследовать зависимость $I_{ч}$ от входящих в выражение параметров.

4. Изучить принцип действия защитного заземления. На стенде смоделировать замыкание фазы на корпусе электроустановки, которой касается человек. Параметры сети $R_{из}$ и C установить критические, полученные в пп. 2 и 3. Снять зависимости $I_3 = f(R_{з\ y})$ и $I_ч = f(R_{з\ y})$. Данные занести в табл. 7.

Таблица 7

Зависимость тока, протекающего через тело человека, от сопротивления заземления

$R_{з\ y}$, Ом						
I_3 , мА						
$I_ч$, мА						

По данным табл. 7 построить графики $I_3, I_ч = f(R_{з\ y})$ и сделать выводы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какая величина сопротивления тела человека является расчетной при оценке условий электробезопасности?
2. Какова зависимость тока, протекающего через тело человека, от сопротивления заземляющего устройства при касании корпуса поврежденного электрооборудования?
3. Как определяется ток замыкания на землю?
4. Какие факторы определяют ток, протекающий через тело человека, при однофазном прикосновении в трехфазной сети с изолированной нейтралью?
5. В каких сетях с изолированной нейтралью емкостная проводимость является определяющей условия электробезопасности?
6. Какая часть тока замыкания на землю пройдет через тело человека при $R_{з\ y} = 100$ Ом?
7. Поясните, почему в реальной линии с конечными параметрами активной и емкостной проводимостями при $R_{кр}$ и $C_{кр}$ ток, протекающий через тело человека, превысит допустимый ток, по величине которого определялись раздельно критическое сопротивление изоляции воздушной линии и критическая емкость кабельной линии.
8. Какова роль защитного заземления оборудования в сетях с изолированной нейтралью?
9. Какими условиями определяется уровень изоляции электроустановок?

10. От каких параметров сети зависит ток замыкания на землю, на корпус заземленного оборудования?

11. Дать оценку току, протекающему через человека, в 10, 20, 50, 100 мА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долня П. А. Основы техники безопасности в электроустановках.—М.: Энергия. 1979. С. 408.
2. Найфельд М. Р. Заземление и защитные меры безопасности.—М.: Энергия, 1971. С. 311.
3. Равякович И. Д. Техника безопасности в передвижных электроустановках.—М.: Энергия. 1976. С. 144.
4. Сколотнев Н. Н., Свиридов В. Л. Некоторые вопросы электробезопасности в сетях с изолированной нейтралью. Тр. МИИТа 1972. Вып. 411. С. 132—138.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Методические указания
к учебно-исследовательской лабораторной работе № 14

Редактор Е. Г. Максакова

Сдано в набор 01.12.89.	Подписано к печати 28.04.90.
Формат 60×84 ¹ / ₁₆ .	Объем 0,75 п. л. Зак. 1845. Тир. 500
Изд. № 268—88.	Бесплатно.

101475. Москва, А-55. ул. Образцова, 15.
Типография МИИТа