



**АУЭС**

Образован в 1975

**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ**

Кафедра  
электрообеспечения  
и возобновляемых  
источников энергии

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В081200 - Энергообеспечение сельского хозяйства

Алматы 2019

СОСТАВИТЕЛИ: Жантурин М.Ж. Техника безопасности в энергетических установках. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В081200-Энергообеспечение сельского хозяйства. - Алматы: АУЭС, 2019. – 24 с.

В данной разработке приведены задания для выполнения расчетно-графических работ, теоретические сведения по основным вопросам техники безопасности в энергоустановках, и методические рекомендации по выполнению указанных заданий.

Данная разработка предназначена студентам специальности 5В081200-Энергообеспечение сельского хозяйства, а также может быть полезна для студентов других специальностей энергетического профиля.

Ил.7 , табл. 12 , библиогр. 4

Рецензент: доцент Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2019 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2019 г.

## Содержание

Введение.....	4
1 Расчетно-графическая работа № 1. Распределение потенциала при стекании тока в землю.....	5
2 Расчетно-графическая работа № 2. Анализ опасности электрических сетей.....	9
3 Расчетно-графическая работа № 3. Расчет защитного заземления.....	16
Приложения.....	20
Список литературы.....	25

## Введение

Техника безопасности - один из видов охраны труда; система организационных и технических мероприятий и средств, исключающих воздействие на исполнителей опасных производственных факторов; составная часть правил охраны труда. Система организационно-технических мер и средств предупреждения условий производства, угрожающих здоровью и жизни работников.

Осуществление мер по технике безопасности, а также создание и применение технических средств техники безопасности производятся на основе стандартов, правил, норм, инструкций нормативно-технической документации.

Электробезопасность - система правовых, организационно-технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрическая травма - травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Напряжение шага - это разность потенциалов между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии шага одна от другой, находящихся в поле растекания тока с заземлителя.

Заземление - это система, в которой соединяются какая-то точка электрической сети, оборудования, прибора или установки с землей.

Защитное заземление — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Естественное заземление – заземление, в котором в качестве заземлителя используют электропроводящие части зданий и сооружений, коммуникаций производственного или другого назначения, находящихся в соприкосновении с землей (металлоконструкции зданий, арматура железобетонных конструкций, свинцовая оболочка электрических кабелей).

Искусственное заземление - заземление, выполняемое с использованием специального заземлителя (электрода).

Однофазное прикосновение - прикосновение к одной фазе электроустановки, находящейся под напряжением.

Для углубления и закрепления теоретических знаний и практических навыков программой дисциплины предусмотрены практические занятия, лабораторные работы и расчетно-графические работы.

Для снижения опасности поражения электрическим током применяются различные защитные меры: малое напряжение, двойная или усиленная изоляция токоведущих частей, ограждения, блокировка, сигнализация, токонепроводящие полы, дистанционное управление электрическими машинами, предупредительные плакаты, соответствие квалификации персонала выполняемой работе, защитное заземление, защитное зануление,

защитное отключение, электрическое разделение сети, уравнивание потенциалов, выравнивание потенциалов, размещение вне зоны досягаемости, средства защиты и другие мероприятия.

По итогам изучения программного материала по технике безопасности электроустановок студенты должны знать:

- общие вопросы охраны труда, основные задачи, организацию службы охраны труда;
- основы электробезопасности, опасность электрического тока, средства и меры защиты в электроустановках;
- технику безопасности при обслуживании электроустановок и др.

Для углубления и закрепления теоретических знаний и практических навыков программой дисциплины предусмотрены практические занятия, лабораторные работы и расчетно-графические работы.

Расчетно-графические работы (РГР) способствуют формированию у студентов умения навыков самостоятельной работы в области решения технических задач электробезопасности.

РГР предусматривает выполнение трех расчетно-графических работ.

В первой работе рассматриваются задачи распределения потенциала при стекании тока в землю через одиночный заземлитель. Цель работы - изучить закономерности распространения потенциалов, основные параметры напряжений шага и прикосновения, научиться определять опасные зоны.

Во второй работе предлагается решение задач по анализу опасности трехфазных электрических сетей с изолированной и заземленной нейтралью.

Третья работа предназначена для расчета заземляющего устройства.

В заданиях приведены рисунки, схемы, расчетные формулы, таблицы, пояснения, приложения и список литературы.

Расчетно-графическая работа выполняется на стандартных листах формата А4 и должна включать содержание, введение, основную часть и заключение.

В конце приводится список использованной литературы с указанием ссылок.

Расчетно-графические работы должны выполняться по стандарту аккуратно, с разборчивым почерком с соблюдением стандартов.

## **1 Расчетно-графическая работа № 1. Распределение потенциала при стекании тока в землю**

### **1.1 Общие сведения**

Стеkanie тока в землю происходит только через проводник, находящийся с нею в непосредственном контакте. При этом происходит резкое снижение потенциала заземлившейся части электрооборудования  $I_3$ , В

до значения, равного произведению тока, стекающего в землю,  $I_3$ , А, на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути, т.е. сопротивление заземлителя растеканию тока  $R_3$ , Ом:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3.$$

Стекание тока в землю сопровождается возникновением не только на заземлителе, но и в земле вокруг заземлителя, а следовательно, и на поверхности земли некоторых потенциалов.

Потенциальная кривая заземлителя любой формы приближается к потенциальной кривой полусферового заземления, изменяющейся по закону гиперболы на относительном большом расстоянии (по сравнению с размером заземлителя), уменьшаясь от максимального значения до нуля, по мере удаления от заземлителя.

Для полусферического заземлителя распределение потенциала описывается функцией:

$$\varphi(x) = \frac{I_3 \rho}{2\pi x},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта;

$x$  – расстояние от середины заземлителя до любой точки на поверхности земли.

Опасность поражения электрическим током определяется напряжением прикосновения или шаговым напряжением.

Напряжение прикосновения - напряжение между двумя точками цепи тока при одновременном прикосновении к ним человека.

Шаговое напряжение приложено к телу человека и определяется как падение напряжения в сопротивлении тела человека:

$$U_{ж} = I_h R_h,$$

где  $I_h$  – ток, проходящий через человека, А;

$R_h$  – сопротивление тела человека, Ом.

Напряжение прикосновения при однофазном прикосновении зависит от напряжения корпуса относительно земли.

При двухфазном прикосновении - напряжение прикосновения равно рабочему напряжению сети.

Шаговым напряжением (напряжением шага) называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.

При стекании тока в землю вблизи зоны заземления возникает шаговое напряжение при токе по пути тока нога – нога.

Шаговым напряжением (напряжением шага) называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на

расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек, иначе говоря, падение напряжения в сопротивлении тела человека, В:

$$U_{ш} = I_h R_h,$$

где  $I_h$  - ток, проходящий через человека, А;

$R_h$  – сопротивление тела человека, Ом.

## 1.2 Задания к расчетно – графической работе № 1 и методические рекомендации по ее выполнению

Ток стекает в землю через полушаровой заземлитель (рисунок 1.1).

На расстоянии  $x_1$  от места замыкания на землю стоит человек.

Определить для него напряжение шага, если размер шага  $a=0,8$  м.

На расстоянии  $x_2$  расположена металлоконструкция.

Определить напряжение прикосновения для человека, касающегося металлоконструкции и находящегося на расстоянии  $x_3$  или  $x_4$  от места замыкания.

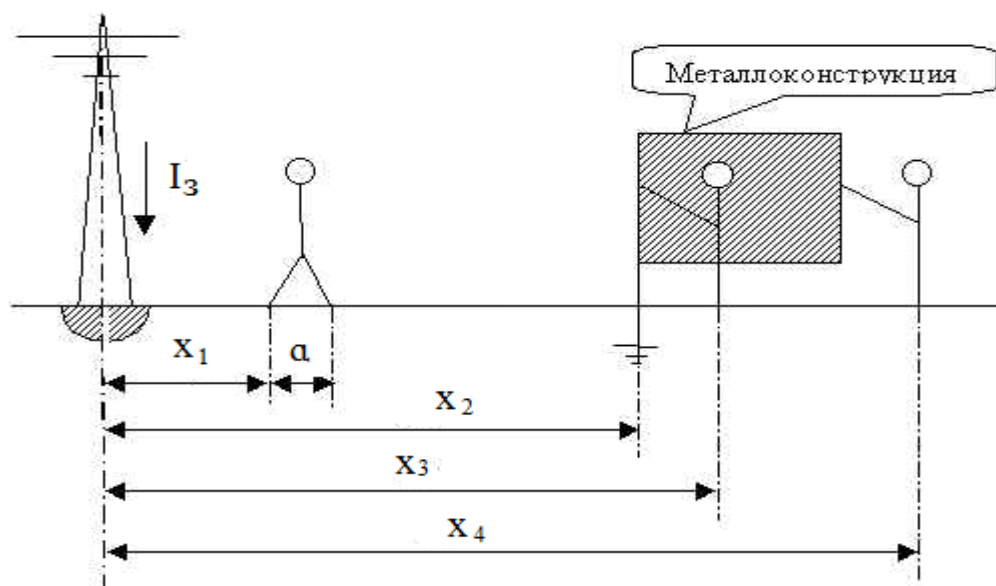


Рисунок 1.1 – Распределение потенциала при стекании тока в землю

При решении задачи принять сопротивления растеканию тока основания, на котором стоит человек, равным нулю.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Расстояние $x_1$ , м	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	1,7	2,5	3,0	2,3	2,8	0,9	3,3

Расстояние $x_2$ , м	2,0	2,4	2,7	3,0	3,5	4,0	4,2	5,0	5,5	4,5	8,0	6,0	7,0
Расстояние $x_3$ , м	3,0	4,0	5,0	3,5	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	8,5	10	12	13
Расстояние	15	16	18	20	28	16	24	30	13	22	32	17	13
Шаг, а, м	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	0,7
Ток стекания $I_3$ , А	10	8	6	15	20	12	10	22	18	30	25	15	16
Удельное сопр. грунта $\rho$ , Ом·м	100	50	80	120	150	200	150	250	300	400	80	500	350

Потенциал любой точки поверхности земли вблизи одиночного полушарового заземлителя можно определить по формуле:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}$$

1. Определим напряжение шага. Так как напряжение шага – это разность потенциалов между двумя точками поверхности земли, на которых одновременно стоит человек, в нашем случае с координатами  $x_1$  и  $x_1 + a$ , рассчитаем его значение как:

$$U_{\text{ш}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_1} - \frac{I_3 \rho}{2\pi (x_1 + a)}$$

2. Определим напряжение прикосновения для двух указанных в условиях задачи случаев. Напряжение прикосновения – это разность потенциалов между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. В обоих случаях человек касается металлической конструкции, имеющей связь с землей. Следовательно потенциал рук человека в обоих случаях будет равен потенциалу металлической конструкции, который может быть определен следующим образом:

$$\varphi_{\text{рук}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_2}$$

Потенциал ног человека определяется потенциалом основания, на котором стоит человек (в одном случае расстоянием  $x_3$ , в другом  $x_4$ ). Потенциал ног на расстоянии  $x_3$  рассчитывается как:



$$\varphi_{\text{ног}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_3},$$

следовательно напряжение прикосновения для этого случая равно:

$$U_h = \varphi_{\text{рук}} - \varphi_{\text{ног}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_2} - \frac{I_3 \rho}{2\pi x_3}.$$

## 2 Расчетно-графическая работа №2. Анализ опасности электрических сетей

### 2.1 Общие сведения

Анализ опасности в электрических сетях сводится к определению силы тока, проходящего через тело человека, величина которого зависит от:

- схемы прикосновения человека в цепь тока;
- напряжения сети;
- схемы самой сети и режима ее нейтрали;
- величины сопротивления изоляции  $R$  токоведущих частей относительно земли;
- величины емкости  $C$  токоведущих частей относительно земли.

Анализ опасности поражения электротоком заключается в расчете максимально возможного тока, проходящего через тело работающего  $I_h$ , или напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  и сравнении этих величин с предельно допустимыми значениями в зависимости от продолжительности воздействия этого тока или напряжения прикосновения.

Анализ должен производиться как в нормальном режиме работы электроустановки, так и в аварийном. Под аварийным режимом понимается режим работы неисправной установки, при котором могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с установкой.

Оценка опасности электропоражения позволяет определить необходимость применения способов и средств защиты, а фактические и предельно допустимые значения  $I_h$  и  $U_{\text{пр}}$  служат исходными данными для их проектирования и расчёта.

Электрическая сеть с изолированной нейтралью.

В нормальном режиме работы сети с изолированной нейтралью ток через человека при прикосновении к фазному проводу (рисунок 2.1):

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + \frac{Z}{3}},$$

где  $Z$  - полное сопротивление проводника (фазы) относительно земли.

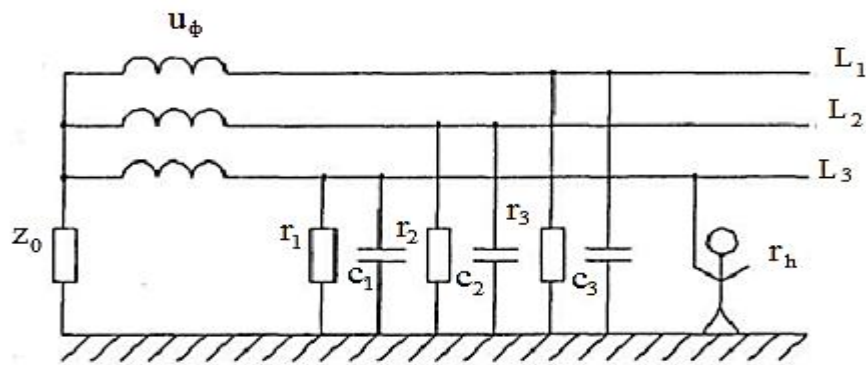


Рисунок 2.1 - Прикосновение человека к фазному проводу

Для коротких сетей, например, когда  $C=0$ , ток через человека определяется сопротивлением изоляции  $R$  фазных проводников:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{R}{3}}$$

Для кабельных линий, характеризующихся большими емкостями проводников относительно земли, когда  $R \rightarrow \infty$ , ток через человека равен:

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{x_c}{3}\right)^2}}$$

где  $x_c = 1/\omega C$  — емкостное сопротивление, Ом.

При аварийном режиме работы сети (рисунок 2.2), когда один из фазных проводов, например, провод  $L_2$ , замкнулся на землю, опасность поражения током человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу, значительно возрастает.

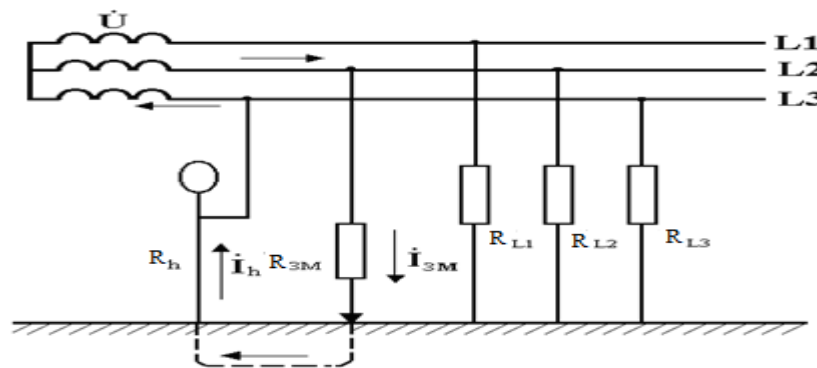


Рисунок 2.2 - Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы

В этом случае ток через тело человека будет равен:

$$I_h = \frac{U\sqrt{3}}{R_h + R_{3M}},$$

где  $R_{3M}$  - сопротивление растеканию тока в месте замыкания фазного провода на землю.

При аварийном режиме работы сети типа IT, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рисунок 2.3), ток через тело человека будет определяться падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю  $R_{3M}$ :

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h} \cdot \alpha_1 \alpha_2,$$

где  $I_{3M}$  - ток замыкания на землю;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты напряжения прикосновения.

При  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ :

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h}.$$

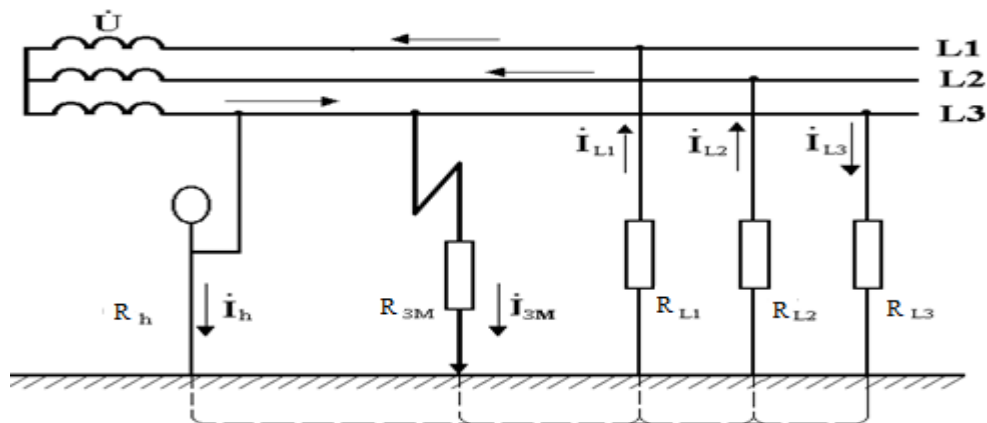


Рисунок 2.3 - Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы

Ток замыкания на землю в сети IT зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления растеканию  $R_{3M}$ ,  $R_h$ . Если принять во внимание, что обычно  $R_{3M} \ll R_h$ , то:

$$I_{3M} = \frac{U}{(R_{3M} + Z/3)}.$$

Электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью.

В нормальном режиме работы сети с глухозаземленной нейтралью ток через человека при прикосновении к фазному проводу (рисунок 2.4), принимает вид:

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0},$$

где  $R_0$  - сопротивление рабочего заземления нейтрали. Напряжение прикосновения в этом случае определяется из уравнения:

$$U_h = \frac{UR_h}{R_h + R_0}.$$

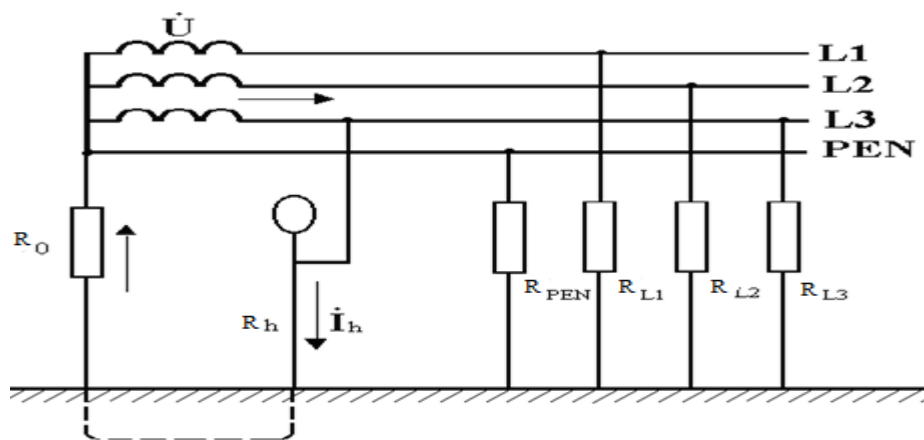


Рисунок 2.4 - Однофазное прямое прикосновение в сети с заземленной нейтралью типа TN-C при нормальном режиме работы

При аварийном режиме, когда один из фазных проводов сети, например, провод  $L_2$  (рисунок 2.5), замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление  $R_{зм}$ , а человек прикасается к исправному фазному проводу, значение тока имеет следующий вид:

$$I_h = \frac{U_h}{R_h}.$$

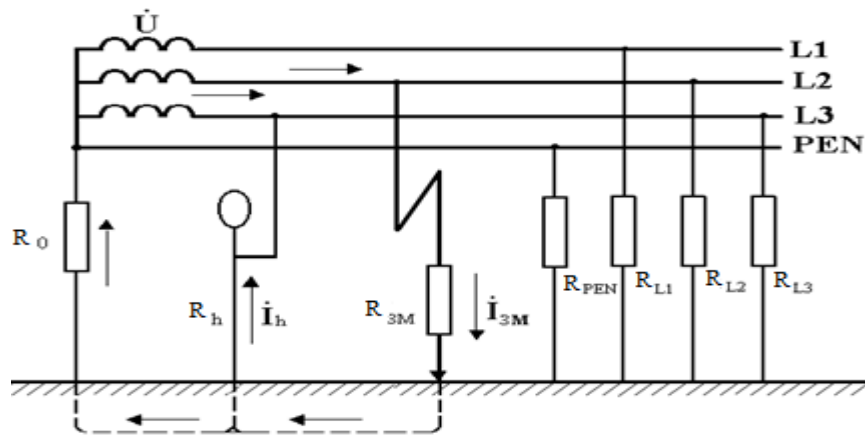


Рисунок 2.5 - Прикосновение к исправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа TN-C при аварийном режиме работ

Так как сопротивления  $R_{3M}$  и  $R_0$  всегда больше нуля, поэтому напряжение прикосновения  $U\sqrt{3} > U_h > U$ . С учетом того, что всегда  $R_{3M} > R_0$ , напряжение прикосновения  $U_h$  в большинстве случаев незначительно превышает значение фазного напряжения.

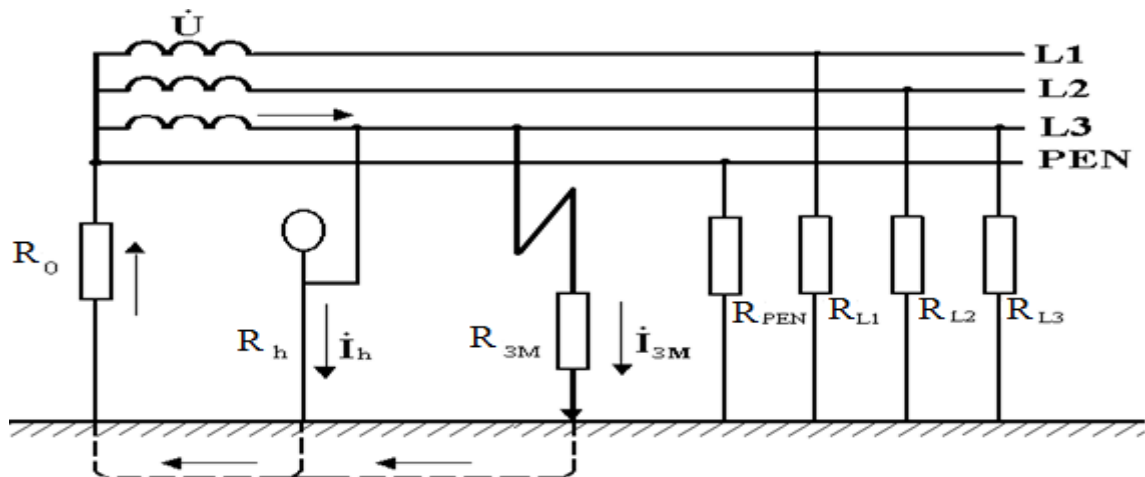


Рисунок 2.6 - Прикосновение к неисправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа TN-C при аварийном режиме работы

При аварийном режиме работы сети типа TN-C, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рисунок 2.6; человек касается фазного провода L3), ток через тело человека будет определяться так же, как и в сети типа IT, падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю  $R_{3M}$ :

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h} \alpha_1 \alpha_2,$$

где  $I_{3M}$  - ток замыкания на землю;  
 $\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты напряжения прикосновения.  
 При  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ :

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h}$$

## 2.2 Задания к расчетно-графической работе

2.2.1 Человек прикоснулся к фазному проводу сети типа IT при нормальном режиме работы. Определить ток, протекающий через тело человека.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U, В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
$R_h$ , кОм	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0	3,5	2,0	1,5	1,0
$R_L$ , кОм	30	40	50	45	60	80	90	100	40	30	50	30	35
C, мкФ	0,1	0,15	0,2	0,22	0,25	50	30	$\infty$	0,1	0,2	1,0	4	5

2.2.2 Человек прикоснулся к исправному фазному проводу сети типа IT при аварийном режиме работы. Определить ток, протекающий через тело человека.

Таблица 2.2 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U, В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
$R_h$ , кОм	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0	3,5	2,0	1,5	1,0
$R_L$ , кОм	30	40	50	45	60	80	90	100	40	30	50	30	35
$R_{3M}$ , Ом	0,1	0,15	0,2	0,22	0,25	50	30	$\infty$	0,1	0,2	1,0	4	5

2.2.3 Человек прикоснулся к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы.

Таблица 2.3 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U, В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
R <sub>h</sub> , кОм	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0	3,5	2,0	1,5	1,0
R <sub>L</sub> , кОм	30	40	50	45	60	80	90	100	40	30	50	30	35
R <sub>зм</sub> , Ом	10	15	2	25	30	35	30	25	20	45	40	50	15

2.2.4 Человек прикоснулся к фазному проводу сети типа TN при нормальном режиме работы. Определить ток, протекающий через тело человека.

Таблица 2.4 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U, В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
R <sub>h</sub> , кОм	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0	3,5	2,0	1,5	1,0

2.2.5 Человек прикоснулся к исправному фазному проводу сети типа TN при аварийном режиме работы. Определить ток, протекающий через тело человека.

Таблица 2.5 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U, В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
R <sub>h</sub> , кОм	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0	3,5	2,0	1,5	1,0
R <sub>0</sub> , Ом	4	5	6	44	60	5	4	7	8	6	4	5	6
R <sub>зм</sub> , Ом	10	15	2	25	30	35	30	25	20	45	40	50	15

2.2.6 Человек прикоснулся к неисправному фазному проводу сети типа TN при аварийном режиме работы. Определить ток, протекающий через тело человека.

человека.

Таблица 2.6 – Исходные данные

Наименование	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U, В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
R <sub>н</sub> , кОм	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0	3,5	2,0	1,5	1,0
R <sub>зм</sub> , Ом	10	15	2	25	30	35	30	25	20	45	40	50	15

### 3 Расчетно-графическая работа №3. Расчет заземляющего устройства

#### 3.1 Общие сведения

Цель расчета – определение основных параметров заземляющего устройства: числа, размеров и размещения электродов при которых соблюдается условие:

$$R \leq R_3, \quad (1)$$

где R – расчетное сопротивление заземляющего устройства, Ом;

R<sub>3</sub> – наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

Значение R<sub>3</sub> устанавливается в зависимости от величины напряжения, вида системы электроснабжения и мощности питающего трансформатора [1]:

- в электроустановках выше 1 кВ (6, 10 кВ) сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 10 Ом;

- в электроустановках до 1 кВ с изолированной либо глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом.

При мощности генераторов и трансформаторов 100 кВ·А и менее заземляющие устройства должны иметь сопротивление не более 10 Ом [6].

При совместной эксплуатации электроустановок разных напряжений 0,4 и 6 (10) кВ рекомендуется выполнять общее заземляющее устройство [3]. Сопротивление такого заземляющего контура должно быть не более 4 Ом. Если мощность трансформаторов (генераторов) S<sub>н</sub> ≤ 100 кВ·А, то сопротивление общего заземляющего устройства должно быть не более 10 Ом.

Подготовка исходных данных.

Для выполнения расчета необходимы:



- характеристика электрической системы (вид системы, напряжение), мощность питающего трансформатора;
- план защищаемого объекта с указанием основных размеров и размещения электрооборудования;
- характеристики грунта и климатической зоны объекта;
- сведения о наличии естественных заземлителей и возможности их использования.

Определение требуемого сопротивления искусственного заземлителя.

В большинстве случаев сопротивление заземляющего устройства определяется в основном сопротивлением растеканию тока заземлителя. Поэтому в практических расчетах сопротивление магистральных и заземляющих проводников, как правило, не учитывается (исключение составляют выносные заземления, удаленные от защищаемого объекта на значительные расстояния).

Если заземляющее устройство использует только искусственный заземлитель, величина требуемого сопротивления такого заземлителя должна соответствовать условию:

$$R_T \leq R_3, \quad (2)$$

При одновременном использовании естественных и искусственных заземлителей требуемое сопротивление искусственного заземлителя определяется по формуле:

$$R_T \leq \frac{R_e R_3}{R_e + R_3}, \quad (3)$$

где  $R_e$  – сопротивление растеканию естественного заземлителя, Ом;  
 $R_3$  – наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

Сопротивление естественных заземлителей можно вычислить по формулам, выведенным для искусственных заземлителей аналогичной формы (приложение А). Однако, поскольку на сопротивление естественных заземлителей влияют многие факторы, не учитываемые этими формулами (наличие антикоррозионной изоляции на трубах и т.п.), указанные вычисления дают, как правило, большую ошибку. Поэтому сопротивления естественных заземлителей обычно определяют непосредственно измерениями.

Выбор типа и предварительной схемы искусственного заземлителя.

На основании данных о территории, на которой возможно размещение искусственного заземлителя, и значений  $I_3$ ,  $R_{и}$ ,  $\rho$  и др. выбирают тип заземляющего устройства – выносной или контурный. Затем после выбора формы электродов их ориентировочно размещают на плане участка.

Определив тип заземлителя, приступают к выбору размера, формы электродов и их ориентировочному размещению на плане участка. Длину вертикальных электродов из труб либо уголковой стали обычно принимают равной 2,0...3 м.

Ориентировочное число одиночных стержневых заземлителей определяют по формуле:

$$n = \frac{R_B}{R_T \eta_B}, \quad (4)$$

где  $R_B$  – сопротивление одиночного вертикального электрода, Ом;  
 $R_T$  – требуемое сопротивление заземляющего устройства, Ом;  
 $\eta_B$  – коэффициент использования вертикальных заземлителей (для ориентировочного расчета принимается равным 1).

Сопротивление одиночного электрода вычисляется по формуле, соответствующей его форме и расположению (приложение А). При этом расчетное удельное сопротивление грунта  $\rho$  должно приниматься с учетом возможного повышения сопротивления грунта в течение года, т.е.

$$\rho = \rho' \cdot \psi_B, \quad (5)$$

где  $\rho'$  – измеренное (либо табличное) значение удельного сопротивления грунта, Ом·м (приложение Б);

$\psi_B$  – коэффициент сезонности для вертикального электрода, принимается в зависимости от климатической зоны, состояния земли во время проведения измерения, конструктивных особенностей заземлителя (приложения В, Г).

Полученное число электродов размещают на площадке соответствующим образом (в ряд, по контуру и т.д.); при этом расстояние между ними принимают равным (1...3)  $L$ , где  $L$  – длина вертикального электрода.

Уточнение параметров заземлителя.

Расчеты выполняются согласно принятой схеме заземлителя в следующей последовательности:

- по приложению Д определяются действительные значения коэффициентов использования вертикального и горизонтального электродов;
- определяется необходимое число вертикальных заземлителей по формуле (5) и уточняется схема заземлителя;
- рассчитывается длина стальной полосы, соединяющей электроды, и по формуле (4), приложения А определяется ее сопротивление растеканию тока;
- вычисляется общее расчетное сопротивление растеканию тока искусственного заземляющего устройства  $R_{\Sigma}$  с учетом соединительной полосы по формуле:

$$R_{и} = \frac{R_{в} \cdot R_{г}}{R_{в} \cdot \eta_{г} + R_{г} \cdot \eta_{в} \cdot n}$$

Полученное значение проверяется на соответствие условию (2 или 3). Если оно удовлетворяет условию и незначительно отличается от требуемого значения  $R_T$ , это означает, что все основные параметры заземлителя выбраны правильно. В противном случае в принятую схему заземлителя необходимо внести соответствующие поправки и расчеты повторить.

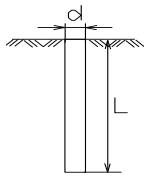
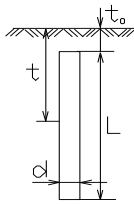
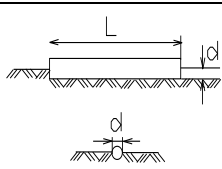
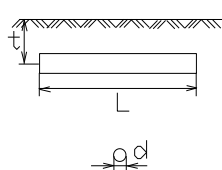
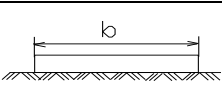
### 3.2 Задания к расчетно-графической работе

Рассчитать и спроектировать заземляющее устройство для электрооборудования производственного здания. Исходные данные к расчету приведены в таблице; недостающие данные принять самостоятельно. По результатам расчета сделать необходимые схемы и эскизы.

Таблица 3.1– Исходные данные к расчету

№	Размер здания в плане, м	Мощность трансформатора, $N_{тр}$ , кВ·А	Грунт		Климатическая зона	Заземлитель			
			тип	удельное сопротивление, $\rho$ , Ом·м		материал	Размеры		
							L, м	d, мм	b, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6x6	50	глина	20	1	пруток	-	20	1
2	10x10	75	глина	30	2	пруток	-	30	-
3	15x10	100	глина	40	3	труба	2,5	50	-
4	20x10	125	глина	50	4	труба	3,0	50	-
5	30x15	150	глина	60	1	труба	3,0	75	-
6	50x20	200	суглинок	70	2	труба	3,0	100	-
7	30x15	50	суглинок	90	3	уголок	2,5	-	50
8	20x10	75	суглинок	110	4	уголок	3,0	-	75
9	15x10	100	суглинок	130	1	труба	3,0	-	100
10	10x10	125	суглинок	150	2	пруток	-	30	-
11	6x6	150	песок	400	3	труба	-	75	-
12	50x20	200	песок	450	4	труба	-	100	-
13	40x15	50	песок	500	1	уголок	-	-	75
14	30x15	75	песок	550	2	уголок	-	-	90
15	20x10	100	песок	600	3	уголок	-	-	-
16	10x10	125	супесь	200	4	пруток	4,0	20	-
17	6x6	150	супесь	250	1	пруток	5,0	30	-
18	20x15	200	супесь	300	2	труба	3	50	-
19	30x15	50	супесь	350	3	труба	4	75	-
20	40x15	75	супесь	400	4	уголок	4	-	75

**Приложение А**  
**Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей**  
**растеканию тока в однородном грунте**

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
1 Стержневой круглого сечения или уголкового у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \quad (1)$	для уголка с шириной полки $\epsilon$ $d = 0,95\epsilon$
2 То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left( \ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L}{4t - L} \right) \quad (2)$	для уголка с шириной полки $\epsilon$ $d = 0,95\epsilon$
3 Протяженный на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d} \quad (3)$	для полосы шириной $\epsilon$ $d = 0,5\epsilon$ ; $L \gg d$
4 То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \ln \frac{L^2}{d \cdot t} \quad (4)$	для полосы шириной $\epsilon$ $d = 0,5\epsilon$ ; $L \gg d$ ; $L \gg 4t$
5 Прямоугольная пластина на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot a} \ln \frac{4 \cdot a}{\epsilon} \quad (5)$	$a$ -меньшая, $\epsilon$ -большая сторона пластины

**Приложение Б**  
**Приближенные значения удельных электрических сопротивлений**  
**различных грунтов, Ом·м.**

Грунт	Возможные пределы колебаний	При влажности 10...20%
Глина	8 ... 70	40
Суглинок	4 ... 150	100
Песок	400 ... 700	700
Супесок	150 ... 400	300
Торф	10 ... 30	20
Чернозем	9 ... 53	20
Каменистый	500 ... 800	-
Скалистый	$10^4$ ... $10^7$	-

**Приложение В**  
**Признаки климатических зон для определения коэффициентов**  
**сезонности**

Характеристике климатической зоны	Климатические зоны России			
	1	2	3	4
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +21
Среднегодовое количество осадков, см	~ 40	~ 50	~ 50	30...50
Продолжительность замерзания вод, дни	190...170	~ 150	~ 100	0

**Приложение Г**  
**Коэффициенты сезонности для однородной земли**

Климатическая зона	Состояние земли во время измерений ее сопротивления при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
Вертикальный электрод длиной 3 м			
1	1,9	1,7	1,5
2	1,7	1,5	1,3
3	1,5	1,3	1,2
4	1,3	1,1	1,0
Вертикальный электрод длиной 5 м			
1	1,5	1,4	1,3
2	1,4	1,3	1,2
3	1,3	1,2	1,1
4	1,2	1,1	1,0
Горизонтальный электрод длиной 10 м			
1	9,3	5,5	4,1
2	5,9	3,5	2,6
3	4,2	2,5	2,0
4	2,5	1,5	1,1
Горизонтальный электрод длиной 50 м			
1	7,2	4,5	3,6
2	4,8	3,0	2,4
3	3,2	2,0	1,6
4	2,2	1,4	1,12

**Приложение Д**  
**Коэффициенты использования элементов группового заземлителя**

Число вертикал ьных электрод ов	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	электроды размещены в ряд			электроды размещены по контуру		
Вертикальные электроды без учета влияния полосы связи						
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62
Горизонтальный полосовой электрод, соединяющий вертикальные электроды						
2	0,85	0,94	0,96	-	-	-
4	0,77	0,86	0,92	0,45	0,55	0,70
6	0,72	0,84	0,88	0,40	0,48	0,64
10	0,62	0,75	0,82	0,34	0,40	0,56
20	0,42	0,56	0,68	0,27	0,32	0,45
40	-	-	-	0,22	0,29	0,39
60	-	-	-	0,20	0,27	0,36
100	-	-	-	0,19	0,23	0,33



## Список литературы

- 1 Правила устройства и безопасной эксплуатации электроустановок Республики Казахстан. – Новосибирск: СУИ, 2006. - 576 с.
- 2 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках : Учеб. пособие для вузов / П.А. Долин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
- 3 П.А.Долин, В.Т.Медведев, В.В.Корочков, А.Ф.Монахов. Электробезопасность. Теория и практика. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 280 с.
- 4 Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность. – Изд. 3-е, перераб. И доп. - М.: ИП РадиоСофт., 2014. - 448 с.

Жантурин Малик Жайлаубаевич

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В081200- Энергообеспечение сельского хозяйства

Редактор Л.Т.Сластихина

Специалист по стандартизации Г.И.Мухаметсариева

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Тираж 50 экз.

Объем 1,5 уч.- изд.л.

Формат 60x84 1/16

Бумага типографская №1

Заказ \_\_\_\_ Цена 750 тг

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электроснабжения и возобновляемых источников энергии

Утверждаю  
Проректор по АД  
\_\_\_\_\_ С.В.Коньшин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В081200- Энергообеспечение сельского хозяйства

СОГЛАСОВАНО  
Директор ДАВ  
\_\_\_\_\_ Р.Р.Мухамеджанова  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
Председатель ОУМК по МОиЭ  
\_\_\_\_\_ Б.К. Курпенов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
Редактор  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
Специалист по стандартизации  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Рассмотрено и одобрено на  
заседании кафедры ЭВИЭ  
протокол № 5  
от « 09 » \_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2019 г.  
Зав. кафедрой ЭВИЭ,  
доцент  
\_\_\_\_\_ К.Т.Тергемес  
Составители:  
доцент кафедры ЭВИЭ  
\_\_\_\_\_ М.Ж.Жантурин

Алматы 2019