

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И. Е. Кажекин**

**SAFETY BASICS IN ELECTRICAL ENGINEERING / ОСНОВЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический  
материал по изучению дисциплины для студентов магистратуры  
по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника /  
Electrical Power Engineering and Electrical Engineering

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 621.31

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «КГТУ»

В.В. Кибартас

**Кажекин, И. Е.**

Safety basics in electrical engineering / Основы безопасности в электротехнике: учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Electrical Power Engineering and Electrical Engineering / **И. Е. Кажекин.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 39 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины представлен тематический план дисциплины, методические рекомендации по изучению каждой темы, а также вопросы для самостоятельной работы.

Список литературы – 3 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 25.10.2023 г., протокол № 12

УДК 621.31

©Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Кажекин И.Е., 2023 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Содержание дисциплины .....	7
2 Методические указания по изучению дисциплины .....	29
3 Типовые индивидуальные задания для самостоятельной работы .....	30
4 Перечень вопросов для самопроверки .....	36
Заключение .....	37
Библиографический список .....	38

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Safety basics in electrical engineering / Основы безопасности в электротехнике» обеспечивает формирование у обучающихся знаний, умений и навыков для планирования, организации и осуществления управления режимами работы объектов профессиональной деятельности с учетом показателей эффективности.

Целью изучения дисциплины является формирование знаний основных правил и нормы безопасности, необходимые для работы электроустановок и умений применять на практике основные принципы организации безопасной эксплуатации электрооборудования

В результате изучения дисциплины «Safety basics in electrical engineering/ Основы безопасности в электротехнике» студент должен:

Знать: основные документы, устанавливающие требования к обеспечению электробезопасности.

Уметь:

- оценивать состояние техники безопасности на производственном объекте;
- соблюдать требования охраны труда при проведении работ.

Владеть: навыками обеспечения электробезопасности.

### *Текущая и промежуточная аттестация студентов*

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания (для студентов всех форм обучения);
- задания и контрольные вопросы по темам практических занятий (для студентов всех форм обучения);

Задания и контрольные вопросы по практическим занятиям работам по дисциплине приведены в соответствующем учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ.

Тестовые задания используются для оценки уровня освоения тем дисциплины студентами. Тестирование обучающихся может проводиться аудиторно или дистанционно с использованием ЭИОС университета. По итогам выполнения тестовых заданий оценка выставляется по четырехбалльной шкале в соответствии с критериями, представленными в таблице 1.

Промежуточная аттестация в форме экзамена проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Результаты промежуточной аттестации определяются в соответствии с критериями, представленными в таблице 1.

*Критерии оценивания результатов освоения дисциплины*

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40 %	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2 Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные.
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом,	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках

	предложенный алгоритм, допускает ошибки	заданным алгоритмом	понимает основы предложенного алгоритма	поставленной задачи
--	---	---------------------	---	---------------------

### *Структура учебно-методического пособия*

Структура учебно-методического пособия включает тематический план дисциплины, содержание каждой темы дисциплины, указания для самостоятельной работы студентов, библиографический список. По каждой теме дисциплины в учебно-методическом пособии приводятся: методические указания по проведению лекционных занятий, список рекомендуемой литературы и методические материалы к занятию. В приложении приведены контрольные вопросы по дисциплине.

# 1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Тема 1. Одиночные заземлители

*Форма занятия:* лекция и практическое занятие

*Вопросы для обсуждения:*

1. Шаровый заземлитель на большой глубине.
2. Шаровый заземлитель возле поверхности земли.
3. Стержневой заземлитель.
4. Определение сопротивления з электростатической аналогии.

*Методические материалы к лекционным занятиям*

Если в качестве заземлителя используется один электрод, то такой заземлитель называется одиночным. Процессы стекания тока, а следовательно, и математические выражения для расчета параметров одиночного заземления наиболее просты. Кроме того, одиночные заземлители являются составляющими более сложных групповых заземлителей.

Ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление, называемое сопротивлением растеканию тока. Оно имеет три слагаемых:

- сопротивление самого заземлителя;
- переходное сопротивление между заземлителем и грунтом;
- сопротивление грунта.

Стекание тока в землю происходит только через проводник, находящийся с нею в непосредственном контакте: случайном или преднамеренном.

При этом одиночный проводник или группа соединенных между собой проводников, находящихся в преднамеренном контакте с землёй, называется соответственно одиночным заземлителем или заземлителем.

Причинами стекания тока в землю являются: замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрического оборудования; падение провода на землю; использование земли в качестве провода и т.п. Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала относительно земли.

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

*Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. Ток  $I_3 = 100$  А стекает в землю через металлический предмет неправильной формы, который может быть условно уподоблен шару радиусом  $r = 0,5$  м. Предмет погружен в землю на глубину 3 м; ток к нему подается по изолированному проводу. Удельное сопротивление земли  $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Требуется определить потенциал на металлическом трубопроводе, проложенном в земле на глубине  $Z_2 = 4$  м и на расстоянии по горизонтали от центра шара  $x = 3$  м.

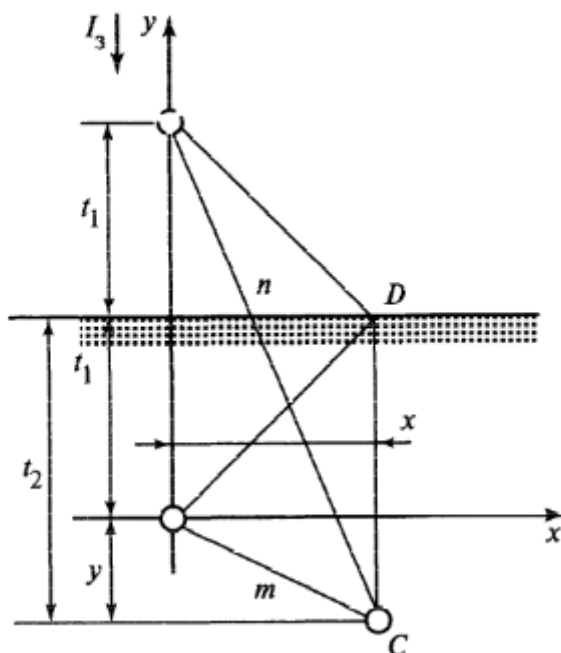


Рисунок 1.1 – Пояснения к решению задачи

### Пример решения

Известно, что при бесконечно большой глубине погружения шарового заземлителя в землю потенциал  $\varphi$  в некоторой точке земли, создаваемый током  $I_3$ , А, стекающим с заземлителя, выражается зависимостью:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{4 \pi x},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление земли,

$x$  — расстояние от центра шара до интересующей нас точки.

Однако, в данном случае шар находится вблизи поверхности земли, поэтому для решения задачи следует воспользоваться методом зеркального отображения. При этом потенциал  $\varphi$  в некоторой точке С (трубопровод) будет равен сумме потенциалов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , создаваемых в этой точке полями токов, стекающих как с действительного, так и с фиктивного заземлителей, В (см. рисунок выше):

С учетом приведенного выше уравнения можно записать:

$$\varphi_c = \frac{I_3 \rho}{4 \pi m} + \frac{I_3 \rho}{4 \pi n} = \frac{I_3 \rho}{4 \pi} \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right),$$

где  $m$  и  $n$  — расстояния от центров действительного и фиктивного заземлителей до трубопровода (точки С), м.

Задача 1.2. С металлического шара радиусом  $r = 0,5$  м, погруженного в землю на глубину 3 м, стекает ток 80 А, который подается к шару по изолированному проводу.

Требуется определить потенциал на поверхности земли в точке D на расстоянии  $x = 3$  м от вертикали, проходящей через центр шара, и потенциал заземлителя (шара). Удельное сопротивление земли 90 Ом м.



Пример решения:

Потенциал на поверхности земли в точке D:

$$\varphi_a = \frac{I * \rho}{2 * \pi * \sqrt{x^2 + l^2}}$$

Потенциал заземлителя (шара):

$$\varphi_z = \frac{I * \rho}{4 * \pi * r} * \left(1 + \frac{r}{2 * l}\right)$$

## Тема 2. Простые групповые заземлители

*Форма занятия:* Лекция и практическое занятие

*Вопросы для обсуждения:*

1. Распределение потенциала на поверхности земли.
2. Сопротивление группового заземлителя растеканию тока.

*Методические материалы к лекционным занятиям*

По условиям безопасности сопротивления заземления должны быть относительно малыми. Принципиально обеспечить такое сопротивление можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя (электрода) или использования нескольких параллельно соединенных электродов. Такой заземлитель называется групповым. Расчеты показывают, что выполнение групповых заземлителей во много раз экономичнее по затратам металла и монтажным работам. Кроме того, при использовании нескольких заземлителей можно выровнять потенциальную кривую на территории, где они размещаются, что имеет также большое значение в обеспечении безопасности обслуживающего персонала. Поэтому на практике применяют в преобладающем большинстве групповые заземлители.

При больших расстояниях между электродами группового заземлителя (более 40 м) поля растекания токов вокруг них не взаимодействуют, и ток каждого электрода проходит по «своему» отдельному участку земли, по которому не проходят токи других заземлителей.

При малых расстояниях между электродами группового заземлителя (менее 40м) поля растекания тока накладываются друг на друга. В результате увеличивается сопротивление земли на общих участках, и сопротивления, как отдельных электродов, так и группового заземлителя возрастают. Степень увеличения сопротивления растеканию одиночных заземлителей в составе группового характеризуется коэффициентом использования проводимости группового заземлителя (коэффициентом экранирования).

Обычно групповой заземлитель выполняется в виде вертикальных стержневых электродов, соединенных между собой горизонтальным полосовым электродом. При таком устройстве группового заземлителя возникает

взаимодействие полей растекания тока вертикальных заземлителей не только между собой, но и с полями горизонтальных электродов.

*Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. Два одинаковых стержневых заземлителя (электрода) круглого сечения забиты в землю вертикально на всю их длину. Расстояние между их центрами  $S = 5$  м. Электроды соединены между собой проводником, с каждого из них в землю стекает ток 5 А. Длины электродов  $Z = 5$  м; диаметры электродов  $d = 0,05$  м; земля однородная, ее удельное сопротивление 100 Ом м; длина шага человека  $a = 0,8$  м.

Требуется определить потенциалы электродов, их сопротивления стеканию тока, а также максимальные значения напряжений прикосновения и шага для человека, находящегося между электродами на прямой, соединяющей их центры.

Пример решения:

Радиус заземлителя:

$$r = \frac{d}{2}$$

Сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя:

$$R_0 = \frac{\rho}{2 * \pi * r}$$

Сопротивление группового заземлителя:

$$R_3 = \frac{R_0}{2}$$

Собственный потенциал одиночного электрода:

$$\varphi_0 = I_0 * R_0$$

Потенциал группового заземлителя:

$$\varphi_{гр} = \varphi_0 + \frac{\varphi_0 * r}{S - r}$$

Напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = I_3 * \rho * \frac{\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{x}\right)}{2 * \pi}$$

Напряжение шага:

$$U_{\text{ш}} = I_3 * \rho * \frac{\left(\frac{1}{x1} - \frac{1}{x2}\right)}{2 * \pi}$$

### Тема 3. Анализ опасности поражения током в электрических сетях

*Форма занятия:* Лекция и практическое занятие

*Ключевые вопросы темы:*

1. Основные термины и определения.
2. Анализ опасности поражения током в однофазных электрических сетях.
3. Анализ опасности поражения током в трехфазных электрических сетях.

*Методические материалы к лекционным занятиям*

Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) определено понятие “Электроустановка”.

Электроустановкой принято называть совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виде энергии.

Все электроустановки по условиям электробезопасности подразделяются на:

- электроустановки напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением 1кВ с изолированной нейтралью;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю);
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю).

Термином “питающие электрические сети” обозначается составная часть системы, включающая источник электроэнергии и питающие линии.

Питающие сети различаются по типам:

- систем токоведущих проводников;
- систем заземления.

Существуют следующие типы систем токоведущих проводников переменного тока:

- однофазные двухпроводные;
- однофазные трехпроводные;
- двухфазные трехпроводные;
- двухфазные пятипроводные;
- трехфазные четырехпроводные;
- трехфазные пятипроводные.

Системы заземления могут быть следующих типов: TN-S, TN-C, TN-C-S, IT, TT.

Система TN – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников.

В приведенном определении использовался ряд терминов.

Нейтраль – общая точка обмоток генераторов или трансформаторов, питающих сеть; напряжения на выходных зажимах источника электроэнергии, измеренные относительно нейтрали, равны.

Глухозаземленная нейтраль источника электроэнергии – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Изолированная нейтраль – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

Проводящие части – части, которые могут проводить электрический ток.

Токоведущие части – проводники или проводящие части, предназначенные для работы под напряжением в нормальном режиме, включая нулевой рабочий проводник.

Открытые проводящие части – доступные прикосновению проводящие части электроустановки, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Нулевой проводник – это проводник, соединенный с глухозаземленной нейтралью, предназначенный либо для питания потребителей электроэнергии, либо для присоединения к открытым проводящим частям.

Нулевой рабочий проводник (N – проводник) – нулевой проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников.

Нулевой защитный проводник (PE – проводник) – нулевой проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для присоединения к открытым проводящим частям с целью обеспечения электробезопасности.

Классификация и схемы электрических систем с напряжением до 1000 В

Система TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении; при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается PEN.

Система TN-S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении.

Система TN-C-S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника электроэнергии.

Система IT – система, в которой нейтраль источника электроэнергии изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющее

большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены. В этом случае защитный заземляющий проводник обозначается так же, как и нулевой защитный проводник, т.е. PE – проводник.

Система TT – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

Поскольку целью настоящей главы является анализ электробезопасности собственно различных типов электрических сетей, предназначенных для питания потребителей электроэнергии, то для удобства изложения материала в дальнейшем будем пользоваться терминами типа “сеть TN-S” и т.д., которые означают совокупность источника электроэнергии с определенным режимом заземления нейтрали и питающей линии с определенной системой токоведущих проводников, например, сеть TN-C означает совокупность источника электроэнергии с глухозаземленной нейтралью и трехфазной четырехпроводной питающей линией.

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, т.е. прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, током, проходящим через тело человека или напряжением прикосновения, под которым он оказывается, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь; напряжения сети; схемы самой сети; режима ее нейтрали; степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли и т.п.

Таким образом, опасность поражения неоднозначна: в одних случаях включение человека в электрическую цепь сопровождается прохождением через него малых токов и окажется неопасным, в других токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Далее определим значения напряжения прикосновения и тока, протекающего через человека, в зависимости от перечисленных выше факторов. Эти параметры необходимо знать для оценки электрической сети по условиям техники безопасности; выбора и расчета соответствующих мер защиты, в частности, заземления, зануления, защитного отключения, устройств контроля изоляции сети и др. При этом во всех случаях, кроме особо оговоренных, будем считать, что сопротивление основания, на котором стоит человек (грунт, пол и пр.), а также сопротивление его обуви незначительны и поэтому приняты равными нулю.

При прямом прикосновении схемы включения человека в цепь тока могут быть различными. Наиболее характерны две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей.

#### *Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. Человек прикоснулся к заземленному проводу однофазной двухпроводной сети в точке b, а затем в точке c.

Напряжение сети (между проводами)  $U = 220$  В; сопротивление тела человека  $1000$  Ом; суммарная длина обоих проводов  $L = 100$  м; провода медные сечением  $S = 10$  мм<sup>2</sup>; удельное сопротивление меди  $0.017$  Ом·мм /м; длина участка а—b заземленного провода  $30$  м; потеря напряжения, установленная при выборе проводов сети во время проектирования (сооружения),  $5\%$ ; активная мощность, потребляемая двигателем,  $P = 18$  кВт; сопротивление заземления провода  $4$  Ом; коэффициент мощности электродвигателя, питающегося от рассматриваемой сети,  $\cos \phi = 0,8$ .

Требуется определить значение тока, прошедшего через человека, при:

- 1) нормальной работе сети;
- 2) замыкании между проводами.

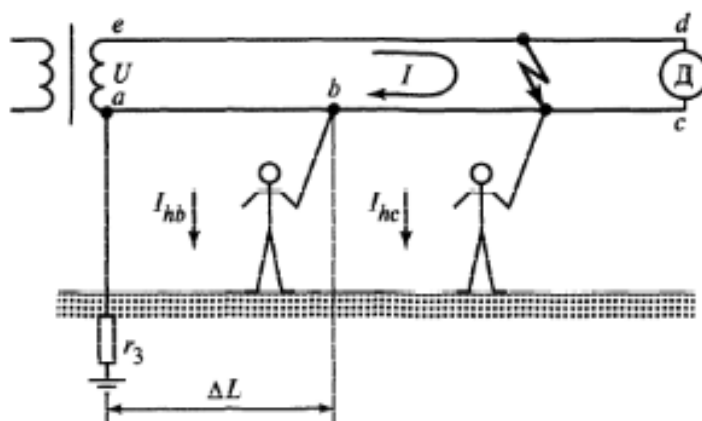


Рисунок 3.1 – Схема к задаче.

Пример решения:

Напряжение на двигателе с учётом потерь:

$$U_B = U * (1 - \alpha)$$

Номинальный ток сети:

$$I_H = \frac{P}{U_B * \cos \phi}$$

Сопротивление участка а-b:

$$R_{ab} = \rho * \frac{L_{ab}}{S}$$

Сопротивление участка а-с:

$$R_{ac} = \rho * \frac{L}{2 * S}$$

Падение напряжения на участке а-b:

$$U_{ab} = I_H * R_{ab}$$

Падение напряжения на участке а-с:

$$U_{ac} = I_H * R_{ac}$$

Ток, проходящий через тело человека, прикоснувшегося к сети в точке b:

$$I_{hb} = \frac{U_{ab}}{R_{ч}}$$

Ток, проходящий через тело человека, прикоснувшегося к сети в точке c:

$$I_{hc} = \frac{U_{ac}}{R_{\text{ч}}} = \frac{9,15}{1000}$$

При коротком замыкании сопротивление каждого провода:

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

Ток короткого замыкания

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{R} = \frac{220}{0,17}$$

Напряжение прикосновения в точке b:

$$U_{hb} = I_{\text{кз}} * R_{ab}$$

Напряжение прикосновения в точке c:

$$U_{hc} = I_{\text{кз}} * R_{ac}$$

Ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к сети в точке b:

$$I_{hb} = \frac{U_{hb}}{R_{\text{ч}}}$$

Ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к сети в точке c:

$$I_{hc} = \frac{U_{hc}}{R_{\text{ч}}}$$

#### **Тема 4. Электрическое поле промышленной частоты**

*Форма занятия:* Лекция и практическое занятие

*Ключевые вопросы темы:*

1. Источники электромагнитных излучений
2. Влияние электромагнитных полей на организм человек
3. Биологическое действие электромагнитных полей
4. Параметры электромагнитных полей, влияющие на биологическую реакцию
5. Последствия действия электромагнитных полей для здоровья человека

*Методические материалы к лекционным занятиям*

Электромагнитное поле – это особая форма материи, представляющая собой взаимосвязанные электрическое и магнитное поля. На практике для характеристики электромагнитной обстановки используют термины "электрическое поле", "магнитное поле", "электромагнитное поле".

Электрическое поле создается зарядами, а его величина характеризуется напряженностью (Е, единица измерения В/м).

Магнитное поле создается при движении электрических зарядов по проводнику. Оно характеризуется напряженностью магнитного поля (Н, единица измерения А/м) и магнитной индукцией (В, единица измерения Тл – Тесла).

Физические причины существования электромагнитного поля связаны с тем, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает магнитное

поле, а изменяющееся магнитное поле - вихревое электрическое поле: обе компоненты, непрерывно изменяясь, возбуждают друг друга. ЭМП неподвижных или равномерно движущихся заряженных частиц неразрывно связано с этими частицами. При ускоренном движении заряженных частиц, ЭМП "отрывается" от них и существует независимо в форме электромагнитных волн, не исчезая с устранением источника (например, радиоволны не исчезают и при отсутствии тока в излучившей их антенне).

Основными источниками электромагнитных полей являются:

- системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии;
- транспорт на электроприводе: железнодорожный и его инфраструктура; городской – метро, троллейбус, трамвай;
- функциональные передатчики: радиостанции, телевизионные передатчики, системы сотовой связи, системы мобильной радиосвязи, спутниковая связь, радиорелейная связь, радиолокационные станции и т.п.;
- технологическое оборудование различного назначения, использующее сверхвысокочастотное излучение, переменные и импульсные магнитные поля;
- медицинские терапевтические и диагностические установки;
- средства визуального отображения информации на электроннолучевых трубках (мониторы, телевизоры);
- промышленное оборудование на электропитании;
- электробытовые приборы.

Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствуют о высокой биологической активности электромагнитных полей во всех частотных диапазонах. При относительно высоких уровнях облучающего электромагнитного поля современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне электромагнитного поля (к примеру, для радиочастот выше 300 МГц это менее 1 мВт/см<sup>2</sup>) принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм. Механизмы действия электромагнитного поля в этом случае еще мало изучены

Варианты воздействия ЭМП на биосистемы, включая человека, разнообразны: непрерывное и прерывистое, общее и местное, комбинированное от нескольких источников и сочетанное с другими неблагоприятными факторами среды и т.д.

На биологическую реакцию влияют следующие параметры ЭМП:

- интенсивность ЭМП (величина);
- частота излучения;
- продолжительность облучения;
- модуляция сигнала;
- сочетание частот ЭМП;
- периодичность действия.

Сочетание вышеперечисленных параметров может давать существенно различающиеся последствия для реакции облучаемого биологического объекта.



Многочисленные исследования в области биологического действия электромагнитных полей (ЭМП) позволяют определить наиболее чувствительные системы организма человека:

- нервная,
- иммунная,
- эндокринная,
- половая.

Эти системы организма являются критическими. Реакции этих систем должны обязательно учитываться при оценке риска воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на население.

Биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания.

Особо опасны ЭМП могут быть для детей, беременных женщин (эмбрион), людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечно-сосудистой систем, аллергиков, людей с ослабленным иммунитетом.

Результаты клинических исследований показали, что длительный контакт с ЭМП в СВЧ диапазоне может привести к развитию заболеваний, клиническую картину которого определяют, прежде всего, изменения функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Было предложено выделить самостоятельное заболевание - радиоволновая болезнь. Это заболевание, по мнению авторов, может иметь три синдрома по мере усиления тяжести заболевания:

- астенический синдром;
- астено-вегетативный синдром;
- гипоталамический синдром.

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий воздействия электромагнитного излучения на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся прежде всего в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица, длительное время находившиеся в зоне электромагнитного излучения, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна. Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы проявляются, как правило, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца и др. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови (лабильность показателей) с последующим развитием умеренной лейкопении, нейropении, эритроцитопении. Изменения костного мозга носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием электромагнитного излучения с достаточно большой интенсивностью. Работающие с магнитными и электромагнитными

полями, а также население, живущее в зоне действия ЭМП жалуются на раздражительность, нетерпеливость. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость.

Учитывая важную роль коры больших полушарий и гипоталамуса в осуществлении психических функций человека, можно ожидать, что длительное повторное воздействие предельно допустимых электромагнитных излучений (особенно в дециметровом диапазоне волн) может привести к психическим расстройствам.

#### *Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. Известно, что вблизи электроустановок промышленной частоты (50 Гц) сверхвысокого и ультравысокого напряжения — 330 кВ и выше (воздушных линий электропередачи, подстанций, распределительных устройств и др.) возникает интенсивное электрическое поле, вредное для здоровья людей. Поэтому существующие нормы ограничивают длительность пребывания людей в электрическом поле в зависимости от его напряженности и от категории людей (персонал, обслуживающий электроустановки; сельскохозяйственный персонал; население). При необходимости нахождения людей в электрическом поле напряженностью  $E$  выше допустимого значения или большей продолжительности, чем предусмотрено нормами, требуется применение защитных средств — экранирующих костюмов, экранов и др.

Допустим, в открытом распределительном устройстве 500 кВ предстоит плановая работа на ряде участков с повышенной напряженностью  $E$  электрического поля. Работа будет проводиться без применения защитных средств — экранов, экранирующих костюмов и пр.

Продолжительность работы зависит от ее объема и составляет:

60 мин на участке 1, где  $E = 10$  кВ/м;

90 мин на участке 2, где  $E = 8$  кВ/м.

Требуется вычислить наибольшее допустимое время выполнения работ для третьего участка, где  $E = 6$  кВ/м, имея в виду, что приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту времени пребывания человека в электрическом поле, не должно превышать 8 ч в течение рабочего дня.

Пример решения:

Время  $t$  предельно допустимого пребывания человека в зоне действия электрического поля вычисляется по формуле:

$$T_{\text{доп}} = \frac{20}{E} - 1$$

Тогда продолжительность работы человека на участке с напряженностью  $E = 6$  кВ/м будет равно:

$$T_{\text{доп}} = \frac{20}{6} - 1 = 2,3 \text{ ч} = 140 \text{ мин}$$

## **Тема 5. Работы под напряжением свыше 1000 В**

*Форма занятия:* Лекция и практическое занятие

*Ключевые вопросы темы:*

1. Порядок производства работ в электроустановках напряжением выше 1000 В.
2. Выполнение работ под напряжением в электроустановках разных классов напряжения: методы, средства защиты.

*Методические материалы к лекционным занятиям*

Работы в электроустановках напряжением выше 1 000 В в отношении мер безопасности разбиваются на три категории:

- а) при полном снятии напряжения с установки;
- б) при частичном снятии напряжения с установки:

За безопасность производства работ в целом, за квалификацию ответственного руководителя работ, производителя работ или наблюдающего, допускающего, а также лиц, включенных в состав бригады, отвечает лицо, выдающее наряд, отдающее устное телефонное распоряжение.

Лицо, выдающее наряд, отдающее устное телефонное распоряжение должно иметь квалификацию группы V.

Производителями работ в установках напряжением выше 1 000 в могут назначаться лица, имеющие квалификацию не ниже группы IV. По окончании работы производитель работ проверяет ее выполнение, наблюдает, чтобы его бригадой были убраны материалы, инструмент, приспособления и электроустановка подготовлена к включению, а затем производитель работ участвует в закрытии наряда.

Наблюдающий назначается для надзора при производстве работ за строительными рабочими и прочими лицами, не обученными производству работ в электроустановках напряжением выше 1 000 в, и отвечает за безопасность работающих только в электрической части. При работах с частичным снятием напряжения, а также при работах вблизи или на токоведущих частях, находящихся под напряжением, наблюдающим назначается лицо с квалификацией не ниже группы IV, в остальных случаях не ниже группы III.

Допускающий производит подготовку отключения всех частей электроустановки и выполнение прочих технических мероприятий согласно выданному на данную работу наряду. Он должен знать схему электроустановки и иметь ясное представление о том, какими операциями и в какой последовательности должно быть достигнуто необходимое отключение при подготовке рабочего места и восстановление питания по окончании работ.

Возникают аварийные ситуации, когда участок электроустановки, электрической сети требуется вывести в ремонт для устранения неисправности, но по определенным причинам это сделать невозможно. Например, обнаружено нарушение контактного соединения на линии напряжением 750 кВ.

Данная линия является очень ответственной и может питать значительную часть энергосистемы в пределах нескольких областей страны. Если в данный момент нет возможности запитать энергосистему от резервной линии, то единственным вариантом устранения неисправности является выполнение работ под напряжением, то есть без предварительного отключения линии электропередач.

Также работа под напряжением в электроустановках рассматривается как один из современных методов обслуживания электроустановок. Вывод участков электроустановок, в частности воздушных линий электропередач – это достаточно трудоемкий процесс, особенно если это очень важная магистральная линия, отключение которой невозможно согласовать в течение года.

В данном случае проведение ремонтных или профилактических работ без снятия напряжения значительно экономит время, требуемое на согласование производимых работ и выполнения мероприятий по выводу в ремонт линии электропередач.

Известны следующие методы проведения работ под рабочим напряжением электроустановки и соответствующие каждому методу средства защиты ремонтного персонала от поражения электрическим током.

Первый метод – работа непосредственно под потенциалом провода, находящегося под напряжением, человек при этом надежно изолирован от земли. Технология работ под напряжением предусматривает работу человека стоя на изолированной подставке, изолированной рабочей площадке автокрана. Человек при этом находится в специальном экранирующем комплекте одежды. До начала подъема к токоведущим частям экранирующий костюм рабочего соединяется с изолированной рабочей площадкой.

Второй метод – работа с изоляцией человека от токоведущих частей, без изоляции человека от земли. Работы по данному методу выполняются с применением изолирующих электрозащитных средств, которые выбираются в соответствии с характером выполняемой работы и классом напряжения электроустановки.

Третий метод предусматривает изоляцию человека, производящего работы, как от земли, так и от токоведущих частей электроустановки, находящихся под рабочим напряжением. Наиболее распространенный пример — проведение работ в электрических цепях до 1000 В: распределительные щитки, шкафы релейной защиты и автоматики оборудования электроустановок.

#### *Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. При подготовке к пофазному ремонту воздушной трехфазной линии электропередачи 35 кВ был отключен один из проводов (фаза) ВЛ, который подлежал ремонту. На этом проводе наводился электростатический потенциал от влияния двух оставшихся под напряжением проводов.

Опоры линии — П-образные с горизонтальным расположением проводов, без грозозащитных тросов; расстояние между соседними проводами на опоре  $d = 3$  м; высота крепления проводов к гирлянде изоляторов  $H_{\text{п}} = 12,09$  м; габарит линии (наименьшее расстояние по вертикали от провода до земли) = 7 м;

взаимная емкость между проводами  $C_{ab} = 1,9 \cdot 10^{-9}$  Ф/км; марка провода АС-150; расчетный радиус провода 0,85 см; сопротивление тела человека  $R_h = 1000$  Ом. Требуется определить значения потенциала, напряжение прикосновения и ток, проходящий через тело человека при прикосновении его к отключенному проводу. Задачу следует решить в двух вариантах: 1) при длине отключенного провода  $L_1 = 50$  км и 2)  $L_2 = 0,24$  км (один пролет линии).

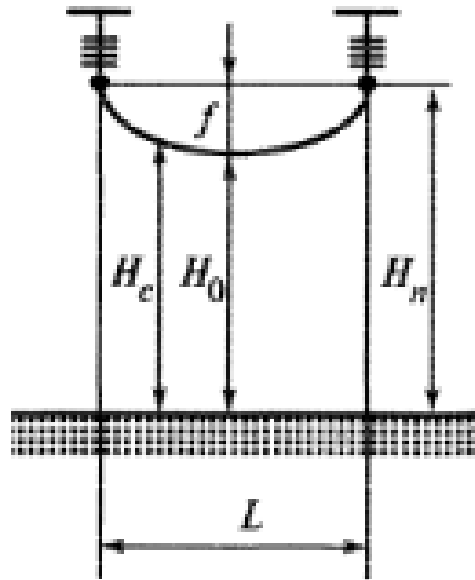


Рисунок 5.1 – Схема к задаче 5.1

Пример решения:

При длине отключенного провода  $L_1 = 50$  км

$$d_{ab} = \sqrt[3]{2d^3} = \sqrt[3]{2 \cdot 3^3} = 3,78 \text{ м}$$

$$H = \frac{H_n + 2H_0}{3} = \frac{12,09 + 2 \cdot 7}{3} = 8,7 \text{ м}$$

$$D_{ab} = 2H = 2 \cdot 8,7 = 17,4 \text{ м}$$

$$\alpha_{b0} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \frac{2H}{r} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \ln \frac{2 \cdot 8,7}{0,0085} = 1,371 \cdot 10^{11}$$

$$\alpha_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \frac{D_{ab}}{d_{ab}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \ln \frac{17,4}{3,78} = 2,746 \cdot 10^{10}$$

$$\Delta = \alpha_{b0}^2 - \alpha_{ab}^2 = 1,805 \cdot 10^{22}$$

$$C_{b0} = \frac{\alpha_{b0} - \alpha_{ab}}{\Delta} = \frac{1,371 \cdot 10^{11} - 2,746 \cdot 10^{10}}{1,805 \cdot 10^{22}} = 6,077 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$C_{ab} = \frac{\alpha_{ab}}{\Delta} = \frac{2,746 \cdot 10^{10}}{1,805 \cdot 10^{22}} = 1,522 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$U_\phi = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{35}{\sqrt{3}} = 20,21 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Потенциал

$$\varphi = \frac{U_\phi \cdot C_{ab}}{C_{ab} + C_{b0}} = 4,047 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Напряжение прикосновения

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_f \cdot L \cdot R_h = 20,21 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 1,9 \cdot 10^{-9} \cdot 50 \cdot 1000 = 602,783 \text{ В}$$

Ток через тело человека при прикосновении к отключенному проводу

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h} = 0,602 \text{ А}$$

При длине отключенного провода  $L_2 = 0,24 \text{ км}$

Аналогично формулам, приведенным выше, напряжение прикосновения

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_f \cdot L \cdot R_h = 20,21 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 1,9 \cdot 10^{-9} \cdot 0,24 \cdot 1000 = 2,893 \text{ В}$$

Ток через тело человека при прикосновении к отключенному проводу

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h} = 0,00289 \text{ А}$$

## **Тема 6. Несчастные случаи с людьми от действия электрического тока без летального исхода**

*Форма занятия:* Лекция и практическое занятие

*Ключевые вопросы темы:*

1. Определение напряжения прикосновения при одиночном и групповом заземлителях
2. Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе
3. Напряжение прикосновения при групповом заземлителе
4. Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек.

*Методические материалы к лекционным занятиям*

Электрический ток на человека оказывает тепловое, электрохимическое и биологическое воздействие.

Тепловое воздействие: электрическая энергия, встречая сопротивление с тканями организма, переходит в тепловую энергию и вызывает электрические ожоги. Главным образом ожоги возникают в месте входа и выхода тока, то есть в местах наибольшего сопротивления. В результате чего образуются так называемые метки или знаки тока. Тепловая энергия, преобразованная из электрической, на своем пути разрушает и изменяет ткани.

Электрохимическое воздействие: «склеивание», сгущение клеток крови (тромбоцитов и лейкоцитов), перемещение ионов, изменение зарядов белков, образование пара и газа, придание тканям ячеистый вид и др.

Биологическое действие: нарушение работы нервной системы, нарушение проводимости сердца, сокращение скелетной мускулатуры сердца и др.

Переменный ток более опасен, чем постоянный. При этом низкочастотные токи (около 50-60 Гц), опаснее, высокочастотных. Частота тока, используемого в быту 60 Гц. При увеличении частоты ток, он идет по поверхности кожи, вызывая ожоги, но не приводит к летальному исходу. Наиболее значима сила и напряжение электротока.

Путь, который проделывает ток через тело, называется петлей тока. Наиболее опасна полная петля (2 руки – 2 ноги), при этом варианте ток проходит через сердце, вызывая сбои в его работе вплоть до полной его остановки. Так же считаются опасными следующие петли: рука-голова, рука-рука.

Чем продолжительнее контакт с источником тока, тем выражение поражения и выше вероятность смертельного исхода. При действии тока высокого напряжения, из-за резкого сокращения мышц, пострадавший может быть сразу отброшен от источника тока. При более низком напряжении тока, мышечный спазм может вызвать продолжительный захват проводника руками. С увеличением времени воздействия тока падает сопротивление кожи, поэтому следует, как можно раньше прекратить контакт пострадавшего с источником тока.

Чаще всего поражения человека электрическим током происходит в результате замыкания электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение. В том случае, если причиной несчастного случая является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п. говорят об опасности косвенного прикосновения. Напряжение на таких частях относительно земли (напряжение прикосновения) может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю.

В этих случаях ток стекает в землю через электрод, который контактирует с грунтом. Металлический проводник (электрод), погруженный в грунт, называется заземлителем.

Ток, стекая с заземлителя в землю, распределяется по значительному ее объему. Пространство вокруг заземлителя, где потенциалы не равны нулю, называется полем растекания тока. Если человек находится в поле растекания тока, то ток частично проходит через его ноги.

Напряжение между двумя точками в поле растекания тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага (1м), на которых одновременно стоит человек, называется напряжением шага.

Закон распределения потенциалов в электрическом поле заземлителя описывается сложной зависимостью, определяемой размерами, формой заземлителя и электрическими свойствами грунта.

Наиболее просто закон распределения потенциалов определяется для случая, когда ток замыкания стекает в землю через одиночный полусферический заземлитель, погруженный в однородный изотропный грунт с удельным электрическим сопротивлением. Линии растекающегося тока направлены по радиусам от заземлителя, как от центра, а сечения земли как проводника представляют собой полусферы с радиусами.

*Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. На воздушной линии электропередачи (ВЛ) с металлическими опорами круглого сечения произошло замыкание фазного привода на тело опоры. При этом воздействию тока подверглись два человека: первый, идущий к опоре, на которую произошло замыкание, и находившийся на расстоянии  $x_1$  от нее, и второй — касавшийся металлической стойки забора, закрепленной в земле и отстоящей от центра опоры ВЛ на расстоянии  $x_2$ .

Ток, стекающий с опоры в землю 50 А; заглубление опоры в землю 2 м; диаметр опоры  $d = 0,2$  м; удельное сопротивление земли  $\rho = 100$  Ом·м; сопротивление тела человека = 1000 Ом; длина шага  $a = 0,8$  м; расстояния:  $x_1 = 2$  м;  $x_2 = 4$  м,  $b = 1,0$  м,  $x_3 = 45$  м.

Требуется определить напряжение шага для первого человека и напряжение прикосновения для второго человека; в обоих случаях учесть сопротивления оснований, на которых находились эти люди. Необходимо также определить потенциал стойки и показание вольтметра на расстоянии  $x_3$ .

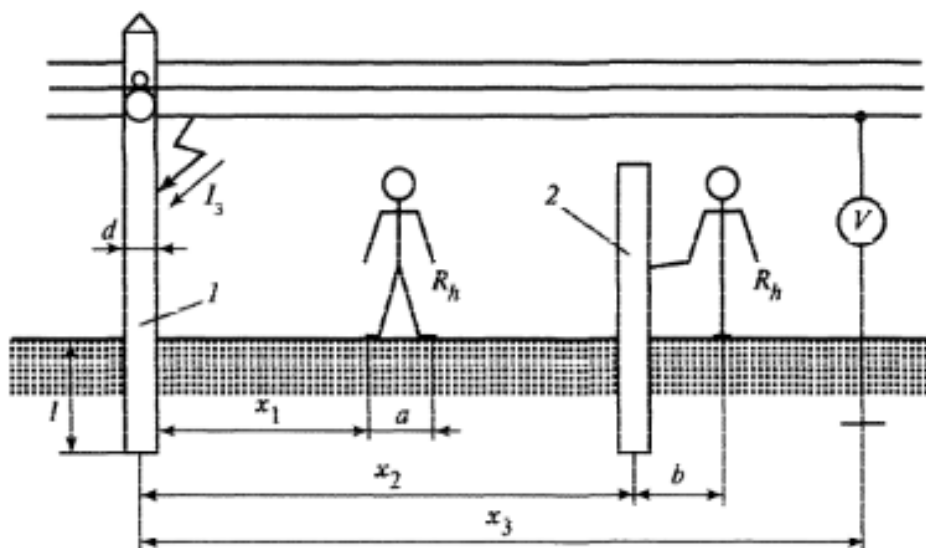


Рисунок 6.1 – Схема к задаче.

Пример решения:

Находим потенциал на поверхности земли на расстоянии  $x=2$ м и  $x=2,8$ м от металлической опоры:

$$\varphi_{x=2} = \frac{I_z \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{\sqrt{2^2 + 2^2} + 2}{2} = 350,7 \text{ В}$$

$$\varphi_{x=2,8} = \frac{I_z \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{\sqrt{2,8^2 + 2^2} + 2}{2,8} = 264,4 \text{ В}$$

Найдем величину коэффициента сопротивления основания, на котором стоит первый человек:

$$\beta_2 = \frac{R_h}{R_h + 2R_{\text{осн}}} = \frac{1000}{1000 + 2 \cdot 3 \cdot 100} = 0,625$$

Подставляя найденные величины, получим:

$$U_{\text{ш}} = (\varphi_{x=2} - \varphi_{x=2,8}) \cdot \beta_2 = (350,7 - 264,4) \cdot 0,625 = 53,9 \text{ В}$$



Определим потенциал металлической стойки на расстоянии  $x=4$  м:

$$\varphi_{x=4} = \frac{I_z \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{\sqrt{4^2 + 2^2} + 2}{4} = 191,5 \text{ В}$$

Определим потенциал основания, на котором стоит второй человек, на расстоянии  $x=4+1$  м = 5 м от опоры:

$$\varphi_{x=5} = \frac{I_z \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{\sqrt{5^2 + 2^2} + 2}{5} = 155,2 \text{ В}$$

Найдем величину коэффициента сопротивления основания, на котором стоит второй человек:

$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + 2R_{\text{осн}}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 100} = 0,86$$

Подставляя найденные величины, получим:

$$U_{\text{п}} = (\varphi_{x=4} - \varphi_{x=5}) \cdot \alpha_2 = (191,5 - 155,2) \cdot 0,86 = 31,2 \text{ В}$$

Определим показания вольтметра после замыкания:

Потенциал замкнутого фазного проводника равен потенциалу замыкания на металлической опоре:

$$\varphi_{\text{з\text{м}}} = \frac{I_z \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2}{0,2} = 1468 \text{ В}$$

Определим потенциал на поверхности земли на расстоянии  $x=45$  м:

$$\varphi_{x=45} = \frac{I_z \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{\sqrt{45^2 + 2^2} + 2}{45} = 18 \text{ В}$$

Следовательно, показания вольтметра составляют:

$$U = \varphi_{\text{з\text{м}}} - \varphi_{x=45} = 1468 - 18 = 1450 \text{ В}$$

## **Тема 7. Несчастные случаи с людьми от электрического тока с летальным исходом**

*Форма занятия:* Лекция и практическое занятие

*Ключевые вопросы темы:*

1. Напряжения шага
2. Напряжение шага при одиночном заземлителе
3. Напряжение шага при групповом заземлителе
4. Напряжение шага с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек

*Методические материалы к лекционным занятиям*

Причинами смерти от электрического тока могут быть: прекращение работы сердца, остановка дыхания и электрический шок. Возможно также одновременное действие двух или даже трех этих причин. Прекращение сердечной деятельности от электрического тока наиболее опасно, поскольку вернуть пострадавшего к жизни в этом случае является, как правило, более сложным заданием, нежели при остановке дыхания или при шоке. Влияние тока на мышцу сердца может быть прямым, когда ток проходит непосредственно в

области сердца, и рефлекторным, то есть через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этой области. В обоих случаях может произойти остановка сердца или его фибрилляция. При поражении током фибрилляция сердца наступает значительно чаще, чем его полная остановка.

Фибрилляция сердца - хаотические разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам. Фибрилляция сердца может наступить вследствие прохождения через тело человека по пути рука-рука или рука-ноги переменного тока силой более 50 мА частотой 50 Гц в течение нескольких секунд.

При фибрилляции сердца, которая возникает вследствие кратковременного действия тока, дыхание может еще продолжаться 2-3 мин. Поскольку вместе с кровообращением прекращается и снабжение организма кислородом, у человека наступает быстрое резкое ухудшение общего состояния и дыхание прекращается. Фибрилляция продолжается короткое время и завершается полной остановкой сердца. Наступает клиническая смерть.

Прекращение дыхания происходит вследствие непосредственного влияния тока на мышцы грудной клетки, которые участвуют в процессе дыхания. Человек начинает ощущать затруднение дыхания вследствие судорожного сокращения мышц уже при токе 20-25 мА частотой 50 Гц. При большем значении силы тока это действие усиливается. В случае длительного прохождения тока у человека наступает асфиксия – болезненное состояние вследствие недостатка кислорода и излишка углекислоты в организме. При асфиксии постепенно теряется сознание, чувствительность, рефлексы, потом прекращается дыхание, а спустя некоторое время останавливается сердце или возникает его фибрилляция, то есть наступает клиническая смерть. Прекращение сердечной деятельности в этом случае обусловлено не только непосредственным влиянием тока на сердце, но и прекращением снабжения организма кислородом, в том числе и клеток сердечной мышцы из-за остановки дыхания.

Электрический шок - своеобразная тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма из-за раздражения электрическим током, которая сопровождается глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ. Шоковое состояние продолжается от нескольких десятков минут до суток. После этого может наступить гибель человека вследствие полного угасания жизненно важных функций, или выздоровление - вследствие своевременного активного врачебного вмешательства.

Наибольшие значения  $U_{ш}$  будут при наименьшем расстоянии от заземлителя, когда человек одной ногой стоит непосредственно на заземлителе, а другой — на расстоянии шага от него. Объясняется это тем, что потенциал вокруг заземлителей распределяется по вогнутым кривым и, следовательно, наибольший перепад оказывается, как правило, в начале кривой.

Наименьшие значения  $U_{ш}$ , будут при бесконечно большом удалении от заземлителя, т. е. за пределами поля растекания тока (практически дальше 20 м).

На расстояниях меньше 20 м  $U_{ш}$  будут иметь промежуточные значения, зависящие от типа заземлителя.

В практике устройства защитных заземлений особый интерес представляют максимальные значения шаговых напряжений.

*Методические материалы к практическим занятиям*

Задача. Небольшое производственное помещение имеет металлический пол — стальной лист, уложенный поверх бетонного основания. Этот лист не имеет электрической связи ни с какими металлоконструкциями и металлическими предметами за исключением корпуса электродвигателя, установленного на бетонном фундаменте; корпус соединен проводником с металлическим полом. Предполагалось, что стальной лист является заземлителем с достаточно большой проводимостью. Но, как показали измерения, это сопротивление оказалось достаточно большим из-за бетонного основания и составило несколько мегаом, т.е. при расчете может быть принято бесконечным.

Во время пребывания в помещении двух рабочих, стоявших на металлическом полу и касавшихся: рабочий А корпуса двигателя, рабочий Б — стальной трубы (см. рисунок к задаче), вертикально забитой в землю, произошло замыкание обмотки работающего двигателя на его корпус. В результате этого человек Б был смертельно поражен током.

Труба, которой касался пострадавший, проходила через круглое отверстие в стальном полу, диаметром в 2 раза большим диаметра трубы, и не касалась стального пола и других металлических элементов помещения.

Дано', сеть трехфазная трехпроводная с изолированной нейтралью напряжением  $U = 660$  В; сопротивления изоляции проводов относительно земли  $r_1 = r_2 = r = 1800$  Ом; длина забитого в землю участка трубы 2,0 м; диаметр трубы  $d = 0,05$  м; сопротивление тела человека  $R_h = 1000$  Ом; удельное сопротивление земли  $\rho = 200$  Ом·м.

Требуется определить напряжения прикосновения ( $U_{пр}$ ), воздействию которых подверглись оба рабочих.

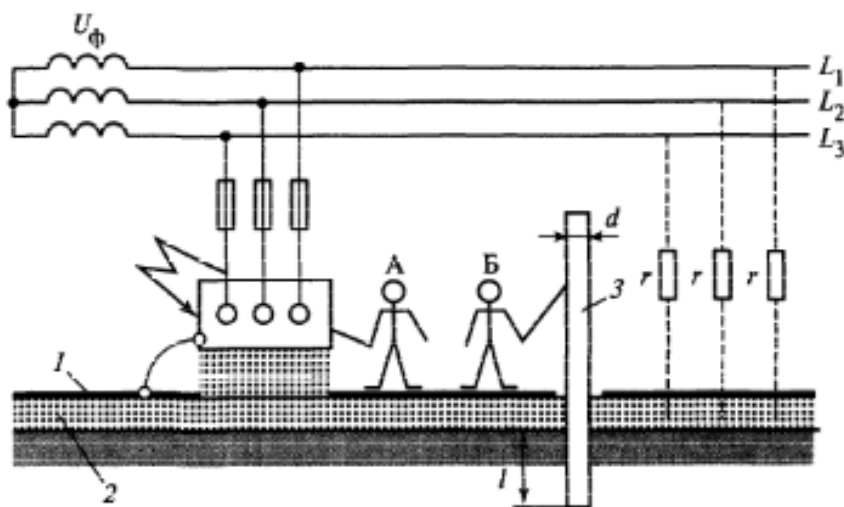


Рисунок 7.1 – Схема к задаче

Пример решения:

В задаче сказано, что рабочий «А» касался корпуса двигателя, причем электродвигатель соединен с металлическим полом. Сам пол имеет чрезвычайно большое сопротивление, поэтому ток, проходящий через тело человека «А», будет незначительным, следовательно:

$$U_{\text{ПР}_A} = 0 \text{ В}$$

Далее, необходимо найти напряжение прикосновения для второго рабочего, поэтому находим значение сопротивления стальной трубы:

$$R_{\text{ТР}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

После подсчетов получаем сопротивление трубы, равное 80,77 Ом.

Определим ток, проходящий через человека «Б»:

$$I_{\text{h}_B} = \frac{U_{\text{Ф}}}{R_{\text{h}} + (R/3) + R_{\text{ТР}}}$$

Ток равняется 226,1 мА.

Напряжение прикосновения для человека «Б»:

$$U_{\text{ПР}_B} = R_{\text{h}} I_{\text{h}_B}$$

Для человека «Б» напряжение прикосновения равняется 226 В.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины студентам целесообразно выполнять следующие рекомендации.

1. Важнейшим условием для успешного освоения дисциплины является прочная теоретическая база и самостоятельная работа с литературой. Особенное значение приобретают такие разделы как анализ электромагнитных полей и методы анализа электрических цепей.

2. В качестве форм самостоятельной работы при изучении дисциплины предлагаются: работа с научной и учебной литературой; конспектирование текста; решение задач и упражнений; углубленное изучение вопросов по тематике лекционных и практических занятий.

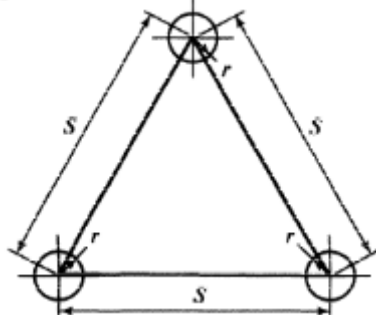
3. При самостоятельной работе с литературой рекомендуется конспектировать изученный материал. Конспекты должны быть выполнены аккуратно, содержать ответы на каждый поставленный в теме вопрос, иметь ссылку на источник информации с обязательным указанием автора, названия и года издания используемой литературы.

4. Задачи преподавателя по организации самостоятельной работы заключаются в следующем:

- информирование о разделах дисциплины, подлежащих изучению, о формах самостоятельной работы, сроках выполнения и формах контроля;
- разработка и выдача заданий для самостоятельной работы;
- проведение консультаций по вопросам выполнения заданий;
- контроль хода выполнения и результатов самостоятельной работы.

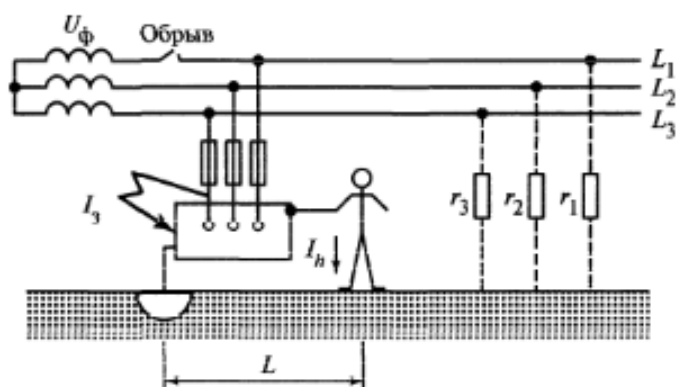
### 3 ТИПОВЫЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1. Ток  $I_3$ , равный 30 А, стекает с группового заземлителя, состоящего из трех одинаковых полушаровых электродов радиусом 0,5 м, размещенных в вершинах равностороннего треугольника. Требуется определить потенциал группового заземлителя при расстояниях между центрами электродов  $S$  и удельном сопротивлении грунта равно  $\rho$  Ом·м (земля однородная).



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
расстояния между центрами электродов $S$ , м	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
удельное сопротивление грунта равно $\rho$ , Ом·м	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170

Задача 2. В трехфазной сети с изолированной нейтралью произошел обрыв фазы 1 в непосредственной близости от питающего трансформатора. В это же время возникло короткое замыкание фазы 3 на заземленный корпус электродвигателя, которого касался человек. Напряжение сети  $U_n = 380$  В; сопротивление заземления корпуса потребителя электроэнергии 52 Ом; сопротивление изоляции фаз сети относительно земли  $r_1, r_2$ ; сопротивление тела человека  $R_h = 1000$  Ом; удельное сопротивление земли 120 Ом·м; расстояние от человека до заземлителя 20 м.



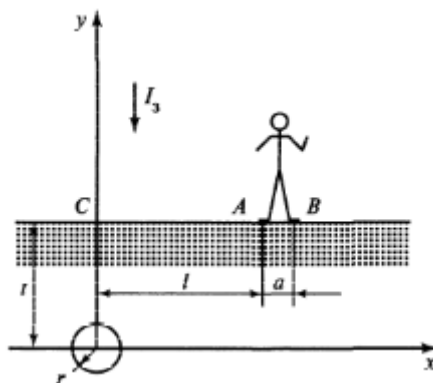
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1$ , Ом	100	3000	520	5200	844	5220	5100	7000	800	9000
$r_2$ , Ом	100	2000	30000	200	6000	500	5000	8000	9000	8000

Задача 3. На территории промышленного предприятия в земле на небольшой глубине находится металлический предмет в форме шара большого размера, обладающий сравнительно малым сопротивлением стеканию с него тока.

В связи с этим было решено использовать этот предмет в качестве естественного заземлителя в системе существующего на данном предприятии защитного заземления. При этом была высказана необходимость предварительно проверить расчетом безопасность нахождения людей в непосредственной близости от участка расположения указанного естественного заземлителя.

Глубина погружения шара в землю  $t$ ; наибольшее значение тока  $I$ ; расчетное удельное сопротивление земли (с учетом коэффициента сезонности)  $80 \text{ Ом м}$ ; наименьшее расстояние от точки  $C$  до человека  $2 \text{ м}$  (меньшее расстояние невозможно из-за местных условий); длина шага человека  $a = 0,8 \text{ м}$ .

Требуется вычислить значение напряжения шага для человека, идущего по земле по прямой линии к точке  $C$  — месту входа провода в землю, а также потенциал заземлителя, во время стекания с него в землю тока.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глубина погружения шара в землю $t$ , м	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Наибольшее значение тока $I$ , А	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Задача 3. Ток стекает в землю через стержневой заземлитель круглого сечения, погруженный в землю на глубину  $3 \text{ м}$ .

Требуется определить потенциал точки на поверхности земли, отстоящей от центра заземлителя на расстояние  $x$ , при токе  $I$ ; удельное сопротивление земли  $100 \text{ Ом м}$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x$ , м	5	6	2	3	4	7	8	9	10	15
$I$ , А	10	20	50	100	150	500	1000	1500	200	30

Задача 4. Определить энергию электрического поля промышленной частоты (50 Гц), поглощенную телом человека, работавшего в ОРУ в течение  $t = 4$  ч, стоя непосредственно на земле в токопроводящей обуви без каких-либо средств защиты от воздействия электрического поля. При этом напряженность электрического поля на уровне высоты его роста составляла 5 кВ/м.

Рост человека  $a$ , масса его тела  $G$ , плотность тела  $1,05$  г/см<sup>3</sup>; удельное электрическое сопротивление тела человека  $10$  Ом·м.

Следует заменить тело человека равной ему по высоте и объему половиной эллипсоида вращения (овоида) с полуосями  $a$  и  $b$ , стоящего так, что большая его полуось  $a$  перпендикулярна поверхности земли.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рост человека $a$ , м	1.18	1.40	1.29	1.06	1.24	1.20	1.51	2.07	2.01	2.00
Масса тела человека $G$ , кг	50	60	50	20	30	50	60	90	100	120

Задача 5. При подготовке воздушной линии электропередачи (ВЛ) к пофазному ремонту полагается устанавливать на отключенный (подлежащий ремонту) провод два временных переносных заземления вблизи друг от друга. Это требование вызвано необходимостью обеспечить высокую степень надежности заземления провода, находящегося под электростатическим и магнитным влиянием оставшихся в работе проводов.

В данном случае одно из этих заземлений намечено присоединить к стационарному заземлителю стальной опоры ремонтируемой ВЛ, т.е. соединить провод с телом металлической опоры. Этот заземлитель, как показали испытания, обладает сопротивлением  $26$  Ом. Другое переносное заземление намечено установить на расстоянии нескольких метров от первого, где заземлителем будут служить вбитые в землю вертикальные электроды (стержни).

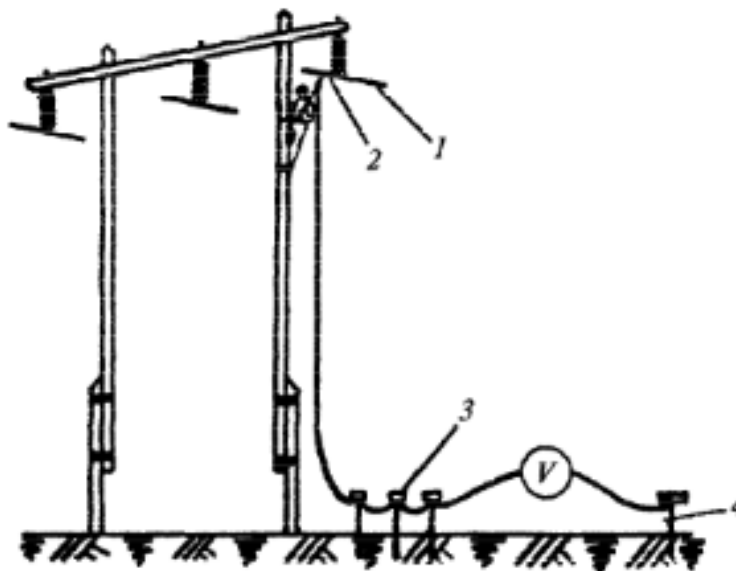
Напряжение ВЛ  $U = 110$  кВ; допустимое напряжение прикосновения  $42$  В; длина отключенного провода  $L_{пр}$ ; взаимная емкость между проводами  $C_{аб} = 1,310^{-9}$  Ф/км; длина погруженной в землю части вертикального стержня (электрода)  $L = 2$  м; диаметр стержня  $d = 0,05$  м; расстояние между соседними вертикальными электродами, установленными в ряд,  $S = 2$  м; удельное сопротивление земли  $\rho$ .

Требуется определить, каким сопротивлением должен обладать второй заземлитель, чтобы была обеспечена безопасность прикосновения монтера к отключенному проводу на участке выполнения работ, т.е. напряжение прикосновения не должно превышать допустимого правилами значения —  $42$  В; определить количество электродов, забиваемых в землю для устройства второго



заземлителя, разместив их на одной прямой на одинаковом расстоянии друг от друга, например 2 м.

Примечание. На практике защита обеспечивается одновременно как от статических, так и от магнитных наводок путем установки на всей длине провода лишь одного двойного заземления, описанного выше, при этом разрешается работать на отключенном проводе лишь в пределах до 20 м в каждую сторону от места его заземления.



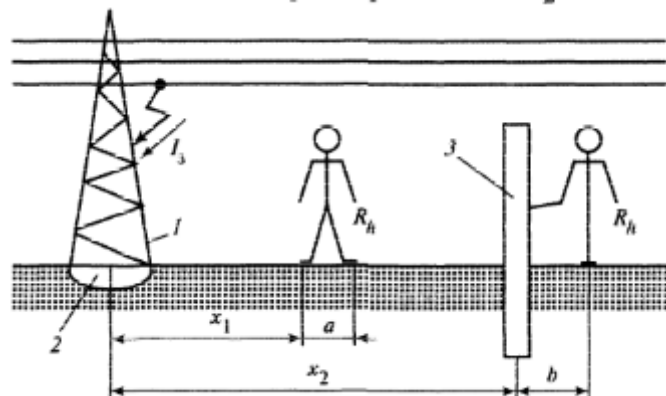
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина отключенного провода $L_{пр}$ , км	50	60	70	80	90	100	110	120	130	150
Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом·м	90	100	80	110	120	130	140	150	200	240

Задача 6. На воздушной линии электропередачи (ВЛ) напряжением 35 кВ с металлическими решетчатыми опорами в результате наброса произошло замыкание одной фазы на тело опоры. При этом воздействию гока во время аварии подверглись два человека: первый, идущий вблизи опоры, на которой произошло замыкание, на расстоянии  $x_1$  от оси опоры, и второй, касающийся металлической стойки забора 3, вбитой в землю и отстоящей от опоры на расстоянии  $x_2$ .

Суммарная протяженность ВЛ 35 кВ, к которой относится и поврежденный участок  $L$  (кабельная сеть отсутствует); удельное сопротивление земли  $\rho$ ; длина шага человека  $a = 0,8$  м; сопротивление тела человека  $R_h = 1000$  Ом; расстояния:  $x_1 = 2$  м;  $x_2 = 4$  м;  $b = 0,8$  м.

Требуется определить шаговое напряжение для первого человека и напряжение прикосновения для второго человека с учетом сопротивления основания, на котором стоит человек, а также потенциал стойки 3.

Ток с опоры в землю стекает через ее фундамент, представляющий собой бетонный параллелепипед, который будем считать токопроводящим и заменим металлическим полушаром.



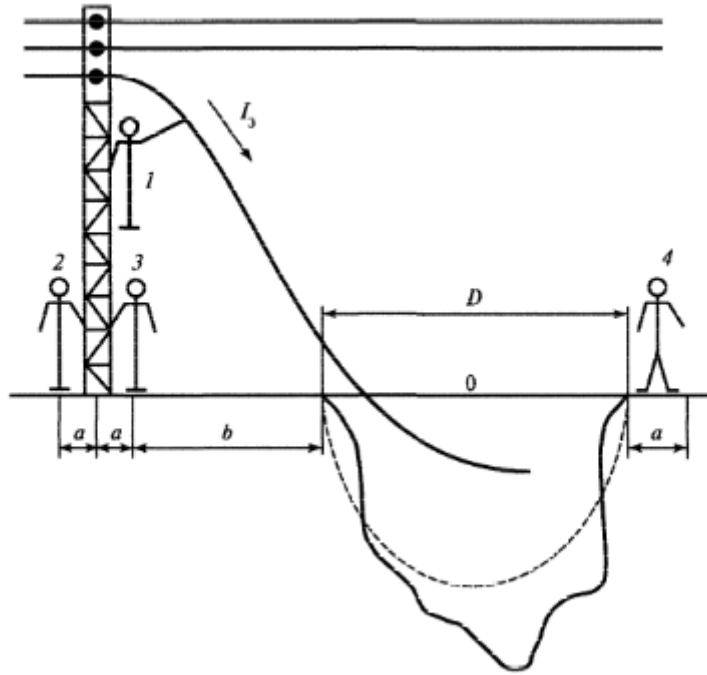
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Протяженность повреждённого участка $L$ , км	100	200	500	400	150	90	80	60	40	250
Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом·м	110	115	110	210	200	100	220	240	90	100

Задача 7. На воздушной электрической линии (ВЛ) 35 кВ с металлическими опорами, имеющей двухстороннее питание, произошел обрыв провода, конец которого упал в небольшой водоем (пруд). При этом воздействию тока подверглись четыре человека: 1 — человек, работающий на опоре, которую коснулся оборвавшийся провод; 2 и 3 — люди, касавшиеся в момент аварии металлического тела опоры; 4 — человек, идущий в непосредственной близости от водоема. Один из них был смертельно поражен током. На его руке возник ожог и образовались электрические знаки в виде выпуклых круглых пятен темно-желтого цвета.

Суммарная длина электрической сети напряжением  $U$ , от которой питался поврежденный участок, равна 86 км, в том числе воздушной  $L_v = 70$  км и кабельной  $L_k = 16$  км; удельное сопротивление земли  $\rho$ ; сопротивление тела человека  $R_h = 1000$  Ом; размеры:  $D - 4$  м,  $a = 0,8$  м;  $b - 2$  м.

Требуется определить значения напряжения прикосновения для людей 1, 3 и напряжение шага для человека 4 с учетом сопротивления основания каждого пострадавшего.

Форму водоема следует принять в виде полусферы диаметром  $D$ , м.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальное напряжение сети, кВ	6	10	15	35	6	10	15	35	6	10
Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом·м	110	115	110	210	200	100	220	240	90	100

#### 4 ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Шаровой заземлитель в земле на большой глубине
2. Шаровой заземлитель вблизи поверхности земли
3. Стержневой заземлитель
4. Определение сопротивления заземлителей растеканию тока методом электростатической аналогии
5. Распределение потенциала на поверхности земли при групповом заземлителе
6. Сопротивление группового заземлителя растеканию тока
7. Анализ опасности поражения током в однофазных электрических сетях
8. Анализ опасности поражения током в трехфазных электрических сетях
9. Чем обусловлена опасность для человека, находящегося рядом с высоковольтным оборудованием?
10. Какие факторы влияют на опасность человека, находящегося в зоне действия сильных электрических полей?
11. Как изменяется потенциал отключенного участка вдоль его длины при отключении одной из фаз? Как влияет длина участка на потенциал?
12. Напряжение прикосновения при одиночном и групповом заземлителях
13. Напряжение прикосновения при групповом заземлителе
14. Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек
15. Напряжение шага
16. Напряжение шага при одиночном заземлителе
17. Напряжение шага при групповом заземлителе
18. Напряжение шага с учетом падения напряжения сопротивлении основания, на котором стоит человек
19. Как влияет заземление отключенной фазы на ток прикосновения к ней?
20. Что означает термин «сверхнизкое напряжение»? (ГОСТ 61140-2012)
21. основополагающее правило защиты от поражения электрическим током. (ГОСТ 61140-2012)
22. Меры предосторожности для основной защиты от поражения электрическим током. (ГОСТ 61140-2012)
23. Методы идентификации выводов оборудования и проводников (IEC 60445:2010).
24. Идентификация посредством цвета (IEC 60445:2010).
25. Идентификация посредством графических обозначений (IEC 60445:2010).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многообразие факторов, влияющих на исход воздействия тока на человека, и многообразие ситуаций, возникающих при работе в электроустановках, предопределили тематическую направленность дисциплины. Для лучшего понимания условий, возникающих при работе с электроустановками, задач и получения их корректных решений приведены теоретические положения электробезопасности. Задачи, рассмотренные в ходе изучения дисциплины, составлены с учетом результатов анализа несчастных случаев, имевших место на производстве или в быту.

Результаты освоения дисциплины будут использованы студентами не только при дальнейшем написании выпускной квалификационной работы, но и в профессиональной деятельности, связанной со взаимодействием с электрооборудованием. Глубокое теоретическое понимание сути явлений, определяющих влияние на опасности электротехнических комплексов, позволяет облегчить понимание нормативных требований и обеспечить безопасные условия труда будущим специалистам электроэнергетической отрасли.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электробезопасность. Теория и практика: учеб. пособие / П. А. Долин [и др.]. - Москва: МЭИ, 2008. - 270 с.
2. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учеб. / А. Ф. Дьяков [и др.]: под ред. А. Ф. Дьякова. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: МЭИ, 2011. - 544 с.
3. Менумеров, Р. М. Электробезопасность / Р. М. Менумеров. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 220 с. — ISBN 978-5-507-46347-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/306812> (дата обращения: 22.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Локальный электронный методический материал

Илья Евгеньевич Кажекин

SAFETY BASICS IN ELECTRICAL ENGINEERING / ОСНОВЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

*Редактор И. В. Голубева*

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 2,4.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1