

**Министерство образования и науки РФ
Иркутский государственный технический университет**

С.С.Тимофеева, В.В.Малов

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

ПРАКТИКУМ

Издательство
Иркутского государственного технического университета
2014

УДК 614.841.3
ББК 38.96

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИрГТУ

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» ИрГТУ Дроздова Т.И.

канд. техн. наук, доцент кафедры пожарно-технической экспертизы ФГКОУ ВПО ВСИ МВД России Беляк А.Л.

Пожарная безопасность электроустановок. Практикум: методические указания к выполнению практических работ/ С.С.Тимофеева, В.В.Малов – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 84 с.

Практикум соответствует требованиям ФГОС–3 УГС 280000 «Безопасность жизнедеятельности, природообустройство и защита окружающей среды» для магистрантов по направлению 280700 «Техносферная безопасность», программа «Пожарная безопасность».

Предлагаются практические работы по темам, соответствующим рабочей программе дисциплины. Приводятся методики и примеры расчетов, справочные данные.

Предназначен для обеспечения более качественного изучения курса обучающимися в магистратуре по программе «Пожарная безопасность», а также может быть использован работниками Государственного пожарного надзора.

© С.С.Тимофеева, 2014
© В.В.Малов, 2014
© Иркутский государственный
технический университет, 2014

Содержание

Введение	4
1. Нормативная оценка классов пожаро- и взрывоопасных зон	5
2. Аналитическое обоснование пределов распространения взрывоопасных зон.....	9
3. Выбор электрооборудования для пожароопасных и взрывоопасных зон	18
4. Экспертиза электрооборудования	24
5. Тепловой расчет силовой сети	28
6. Тепловой расчет осветительной сети	35
7. Экспертиза электрической сети	42
8. Расчет заземления.....	43
9. Устройство молниезащиты и нормативные требования	46
10. Расчет молниезащиты	59
Приложение А. Экспертиза электрической сети	65
Приложение Б. Расчет заземления	80
Приложение В. Расчет молниезащиты	84

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, ежегодно более 20 % пожаров в Российской Федерации происходит из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок. Поэтому пожарная безопасность объектов во многом зависит от соответствия степени защиты электрооборудования условиям эксплуатации, соответствия сечения проводников и параметров аппаратов защиты электроустановок токовой нагрузке, а также соответствия нормативным требованиям устройств заземления и молниезащиты.

Практикум предназначен для магистрантов вузов, обучающихся по направлению подготовки 280700 «Техносферная безопасность» по программе «Пожарная безопасность», а также может быть использован работниками Государственного пожарного надзора.

Практическое занятие 1.

Нормативная оценка классов пожароопасных и взрывоопасных зон

Цель работы

1. Изучение классификации пожароопасных и взрывоопасных зон по Правилам устройства электроустановок и по ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Определение классов пожароопасных и взрывоопасных зон на примерах.

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб. и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Федеральный закон №117-ФЗ от 10.07.2012.
4. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

1. Определение классов пожароопасных зон

Вопросы для подготовки к занятию

- Какие материалы относятся к пожароопасным веществам?
- На какие классы разделены пожароопасные зоны?
- Дать определение классам пожароопасных зон.
- Какие классы зон наиболее пожароопасны?

Определение классов пожароопасных зон на примерах

Цех регенерации минеральных масел	П-I
Ткацкий цех текстильной фабрики	П-II
Отделение обрезки щитов мебельного цеха	П-IIa
Отдел магазина по торговле тканями	П-IIa
Отделение обрезки ДСП мебельного цеха	П-II
Насосная для перекачки горючих жидкостей	П-I
Прядильный цех ткацкой фабрики	П-II

Книгохранилище	П-IIa
Склад угля под навесом	П-III
Помещение магазина с хранением бочки с растительным маслом	П-I
Камера с масляным трансформатором в закрытой подстанции	П-I
Помещения музея	П-IIa
Шиномонтажное отделение в гараже	П-IIa
Отделение упаковки мебели мебельной фабрики	П-IIa
Коровник	П-IIa
Помещение вытяжного вентилятора, обслуживающего ткацкий цех	П-II
Камера масляных выключателей трансформаторной подстанции	П-I
Спальное помещение казармы	П-IIa
Отделение обрезки ДСП мебельного цеха	П-II
Малозапыленное помещение элеватора	П-II
Участок упаковки в мебельном цехе	П-IIa
Ферма	П-IIa
Участок разлива минеральных масел в мелкую тару	П-I
Отдел магазина по торговле одеждой	П-IIa
Помещение магазина с хранением бутылок с растительным маслом	П-I
Книжный магазин	П-IIa
Помещения архива	П-IIa
Помещение вытяжного вентилятора, обслуживающего цех механической обработки древесины	П-II
Отдел магазина по торговле обувью	П-IIa
Канцелярия	П-IIa

2. Определение классов взрывоопасных зон

Вопросы для подготовки к занятию

- Какие вещества могут образовывать взрывоопасные смеси с воздухом?
- На какие классы разделены взрывоопасные зоны?
- Дать определение классам взрывоопасных зон.
- Какие классы наиболее взрывоопасны?

Определение классов взрывоопасных зон на примерах

Помещение аммиачной компрессорной	В-Iб
-----------------------------------	------

Наружная установка нефтеперерабатывающего завода	B-Iг
Склад баллонов с изобутаном в помещении	B-Ia
Цех углеподготовки (дробления угля) ТЭЦ	B-II
Цех расфасовки сахарной пудры (НКПВ – 8,9 г/м ³)	B-II
Предел взрывоопасной зоны около резервуара с бензином	8м
Предел взрывоопасной зоны за оконным проемом помещения с зонами класса B-I	0,5м
Бензозаправочная колонка АЗС	B-Iг
Узел задвижки на газопроводе в помещении	B-Ia
Химическая лаборатория (работа с ЛВЖ)	B-Iб
Железнодорожная эстакада по открытому сливу сырой нефти	B-Iг
Предел взрывоопасной зоны около предохранительного клапана емкости с ЛВЖ	5м
Закрытое тарное хранилище ЛВЖ	B-Ia
Помещение газовых турбин	B-I
Зарядная станция аккумуляторов	B-Iб
Тракт топливоподдачи угля на ТЭЦ	B-IIa
Закрытый склад баллонов с аммиаком	B-Iб
Цех заполнения бутылок растворителем РС-2 (вентиляция отсутствует)	B-I
Смотровая канава в гараже	B-Iб
Пруд-отстойник с плавающей нефтяной пленкой	B-Iг
Предел взрывоопасной зоны около вытяжного вентилятора, установленного снаружи помещения с зоной класса B-Ia	3 м
Сильнозапыленное помещение элеватора	B-II
Помещение для наполнения баллонов сжиженным газом	B-Ia
Цех расфасовки чая (НКПВ – 32,8 г/м ³)	B-II
Цех по производству аммиачной селитры	B-Iб
Стоянка автомашин в гараже	B-Iб
Цех заполнения бутылок растворителем РС-2 (вентиляция имеется)	B-Ia
Закрытый склад баллонов с пропаном	B-Ia
Бензозаправочная колонка АЗС	B-Iг
Участок заполнения бутылок растворителем № 646 (вентиляция имеется)	B-Ia
Склад баллонов с ацетиленом в помещении	B-Ia
Железнодорожная эстакада по открытому сливу сырой нефти	B-Iг
Узел задвижки на нефтепроводе в помещении	B-Ia
Отделение лакирования мебельной фабрики (вентиляция имеется)	B-Ia
Закрытый склад баллонов с водородом	B-Ia

Открытый склад дизельного топлива в бочках	В-Іг
Участок заполнения бутылок ацетоном (вентиляция имеется)	В-Іа
Цех расфасовки какао (НКПВ – 45 г/м ³) (вентиляция имеется)	В-Іа
Лакоприготовительное отделение мебельной фабрики	В-Іа
Предел взрывоопасной зоны за оконным проемом помещения с зонами класса В-ІІ	0,5 м
Предел взрывоопасной зоны около эстакады с открытым сливом нефти	20 м
Цех по расфасовке алюминиевой пудры (НКПВ – 45 г/м ³ , вентиляция имеется)	В-Іа

Практическое занятие 2

Аналитическое обоснование пределов распространения взрывоопасных зон

Цель работы

1. Изучение методики оценки размеров взрывоопасных зон в помещениях.
2. Решение задачи по определению размера взрывоопасной зоны в помещении.

Вопросы для подготовки к занятию

- По каким нормативным документам определяются классы взрывоопасных зон?
- Как определяются размеры взрывоопасных зон?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Федеральный закон №117-ФЗ от 10.07.2012.
4. СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
5. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник изд.: в 2-х книгах. _М.: Химия, 1990.- 496 с.
6. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

1. Методика оценки размера взрывоопасной зоны в помещении

Размеры взрывоопасной зоны в помещении зависят от относительного объема взрывоопасной смеси. Методика расчета относительного объема

взрывоопасной смеси основана на уравнениях, приведенных в СП 12.13130.2009 [4]. Методика заключается в следующем.

1. Расчет свободного объема помещения

Свободный объем помещения $V_{\text{св}}$ определяется в зависимости от геометрических размеров помещения и объема технологического оборудования. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80% геометрического объема помещения

2. Расчет массы ЛВЖ, поступившей в помещение в результате аварии.

Масса ЛВЖ $m_{\text{п}}$ складывается из двух компонентов:

$$m_{\text{п}} = m_{\text{а}} + m_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{а}}$ – масса жидкости, выходящей при аварии из аппарата и трубопроводов, кг; $m_{\text{к}}$ – масса жидкости, поступившей в помещение до закрытия задвижки, кг.

$$m_{\text{а}} = [V_{\text{а}} \cdot E_{\text{а}} + 7,85 \cdot 10^{-7} (l_{\text{п}} \cdot d_{\text{п}}^2 + l_{\text{о}} \cdot d_{\text{о}}^2)] \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{а}}$ – объем аппарата, м^3 ; $E_{\text{а}}$ – степень заполнения аппарата жидкостью; $l_{\text{п}}$, $d_{\text{п}}$ – длина (м) и диаметр (мм) подводящего трубопровода; $l_{\text{о}}$, $d_{\text{о}}$ – длина (м) и диаметр (мм) отводящего трубопровода; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

$$m_{\text{к}} = q \cdot \tau_{\text{з}} \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad (3)$$

где q – производительность насоса, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $\tau_{\text{з}}$ – время закрытия задвижки, с.

Нормативное время ручного закрытия задвижки составляет 300 с.

В случае, если какие-либо аппараты отсутствуют, а длина трубопроводов проектируется минимальной, $m_{\text{а}}$ можно принять равной нулю (например, для насосных станций по перекачке ЛВЖ).

3. Расчет массы паров ЛВЖ, испарившейся с поверхности разлива

Масса паров ЛВЖ, испарившихся с поверхности разлива в результате расчетной аварии в помещение рассчитывается по формуле

$$m_{\text{и}} = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T_{\text{и}}, \quad (4)$$

где W – интенсивность испарения, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; $F_{\text{и}}$ – площадь испарения, м^2 ; $T_{\text{и}}$ – время испарения ЛВЖ, с.

Интенсивность испарения W определяется по справочным и экспериментальным данным. Для не нагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать W по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}, \quad (5)$$

где η – коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения; M – молярная масса, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $P_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре t_p .

Значение коэффициента η принимается по таблице А.2 [4]. При этом скорость воздушного потока в помещении u , $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, можно определить по формуле

$$u = A_{\text{в}} \cdot l, \quad (6)$$

где $A_{\text{в}}$ – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с^{-1} ; l – длина помещения, м.

Давление насыщенного пара при расчетной температуре рассчитывается по уравнению Антуана

$$P_{\text{н}} = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_A + t_p}}{C_A + t_p}}, \quad (7)$$

где A , B , C_A – константы Антуана согласно справочника Баратова [5]; t_p – расчетная температура жидкости, $^{\circ}\text{C}$.

Площадь испарения $F_{\text{и}}$ согласно [4], определяется в зависимости от массы ЛВЖ $m_{\text{п}}$, поступившей в помещение в результате аварии. При этом исходят из того, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70% и менее (по массе) растворителей, разливается на площадь $0,5 \text{ м}^2$, а остальных жидкостей – на 1 м^2 пола помещения.

Расчет площади разлива ЛВЖ производится по формуле

$$S_{\text{р}} = f \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}}, \quad (8)$$

где f – коэффициент растекаемости, который выбирается в зависимости от процентного содержания растворителя в растворе по правилу: если содержание растворителя больше 70%, то $f = 1000$, если меньше или равно 70%, то $f = 500$.

Таким образом, площадь испарения равна площади помещения $F_{\text{и}} = S$, если $S_p \geq S$ и равна площади разлива $F_{\text{и}} = S_p$, если $S_p < S$.

Время испарения ЛВЖ $T_{\text{и}}$ принимается времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Время полного испарения ЛВЖ рассчитывается по формуле

$$\tau_n = \frac{m_n}{W \cdot F_u} \quad (9)$$

Если в помещении работает вентиляция, то при расчете величины испарившейся жидкости значение массы $m_{\text{и}}$ необходимо разделить на коэффициент K , определяемый по формуле [4]

$$K = A_B \cdot T + 1, \quad (10)$$

где A_B – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с^{-1} ; T – продолжительность поступления паров ЛВЖ в объем помещения, с (согласно [4] принимается равным времени испарения).

Тогда, с учетом работы вентиляции, масса паров ЛВЖ, испарившихся с поверхности разлива в результате расчетной аварии в помещении

$$m_u^* = \frac{m_u}{K} \quad (11)$$

4. Определение расчетного объема взрывоопасной смеси

Расчетный объем взрывоопасной смеси, в котором поступившее в помещение вещество может образовать взрывоопасную концентрацию на нижнем пределе воспламенения, определяется по формуле

$$V_{\text{расч.в.с.}} = 1,5 \frac{m}{\varphi_n}, \quad (12)$$

где 1,5 – коэффициент запаса; m – масса поступивших в помещение веществ в результате возможной аварии, г (при выполнении курсовой работы можно принять $m = m_u^*$); φ_n – нижний концентрационный предел воспламенения, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$.

Если в исходных данных НКПВ φ_n приведен в (%), то перевод его размерности в $(\text{г} \cdot \text{м}^{-3})$ необходимо выполнить по формуле

$$\varphi_n = \frac{10 \cdot M \cdot \varphi_n(\%)}{V_o}, \quad (13)$$

где M – молярная масса, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$.

5. Расчет относительного объема взрывоопасной смеси

$$B = \frac{V_{\text{расч.в.с.}}}{V_{\text{св}}} \cdot 100\% \quad (14)$$

Согласно п.7.3.39 [1], взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси *равен или менее* 5 % свободного объема помещения. Если объем взрывоопасной смеси *превышает* 5 % свободного объема помещения, то взрывоопасная зона занимает *весь объем помещения*.

2. Пример решения задачи по обоснованию предела распространения взрывоопасной зоны

Исходные данные

Насосная станция по перекачке светлых нефтепродуктов с размером насосного зала 9×6 м, высота 4 м. Кратность воздухообмена в помещении $A_B = 20 \text{ ч}^{-1}$. Температура воздуха в помещении $T_0 = 293 \text{ К}$.

Обрабатываемое вещество – бензин А-80. Молярная масса $M = 97,2 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; плотность жидкости $\rho_{\text{ж}} = 880 \text{ кг/м}^3$; нижний предел распространения пламени $\varphi_{\text{н}} = 1 \%$; константы Антуана $A = 5,0702$, $B = 682,876$, $C_A = 222,066$.

В насосном зале установлены насосы типа 6НКЭ-9х1 производительностью $q = 120 \text{ м}^3/\text{час} = 2 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,033 \text{ м}^3/\text{с}$; время ручного закрытия задвижки $\tau_3 = 300 \text{ с} = 5 \text{ мин}$.

Нормативной оценки класса взрывоопасной зоны

При нормальных условиях работы насосов, их внутренняя полость заполнена перекачиваемой ЛВЖ находящейся под давлением, поэтому паровоздушная взрывоопасная смесь не образуется. При нормальном технологическом процессе возможна небольшая утечка ЛВЖ через сальниковые уплотнения, которая удаляется из помещения вытяжной вентиляцией.

Аварийный режим может возникнуть в результате больших напряжений в полости насоса и подводящих трубопроводах (при гидравлическом ударе), при увеличении производительности насосов, коррозии оборудования, уменьшении внутреннего сечения расходных трубопроводах. Аварийный режим работы может привести к повреждению оборудования и выхода большого количества бензина в помещение насосного зала насосной станции.

Следовательно, согласно п.7.3.41 ПУЭ [1], помещение насосного зала относится к взрывоопасной зоне класса В –Iа, что соответствует зоне класса 2 по ФЗ №123 [2].

Аналитическое определение размера взрывоопасной зоны

1. Геометрический объем насосного зала, м³

$$V = 9 \cdot 6 \cdot 4 = 216 .$$

Свободный объем помещения, м³

$$V_{\text{своб}} = 0,8 \cdot V = 0,8 \cdot 216 = 172,8.$$

2. Масса ЛВЖ, поступившей в помещение в результате аварии

$$m_{\text{п}} = m_{\text{а}} + m_{\text{к}} ,$$

где $m_{\text{а}}$ – масса жидкости, выходящей при аварии из аппарата и трубопроводов, кг; $m_{\text{к}}$ – масса жидкости, поступившей в помещение до закрытия задвижки, кг.

Массу жидкости, выходящей при аварии из аппарата и трубопроводов, можно принять равной нулю, так как в данной насосной станции какие-либо аппараты отсутствуют, а длина трубопроводов минимальна, то есть $m_{\text{а}} = 0$.

Масса жидкости, поступившей в помещение до закрытия задвижки, кг

$$m_{\text{к}} = q \cdot \tau_3 \cdot \rho_{\text{ж}} = 2 \cdot 5 \cdot 880 = 8800,$$

где q – производительность насоса, м³/мин; τ_3 – время закрытия задвижки, мин.

Следовательно $m_{\text{п}} = m_{\text{к}} = 8800$ кг.

3. Давление насыщенного пара при расчетной температуре, кПа,

$$P_{\text{н}} = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_{\text{А}} + t_{\text{р}}}}{10}} = 10^{\frac{5,0702 - \frac{682,876}{222,066 + 20}}{10}} = 177,5$$

где A , B , $C_{\text{А}}$ – константы Антуана согласно справочника [8]; $t_{\text{р}}$ – расчетная температура жидкости, °С.

4. Интенсивность испарения W согласно (5), кг/с·м²

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{97.2} \cdot 177,5 = 0,00175$$

где η – коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения, принимаем $\eta = 1$; M – молярная масса, кг·моль⁻¹; P_n – давление насыщенного пара при расчетной температуре t_p .

5. Площадь помещения насосного зала, м²

$$S = 9 \cdot 6 = 54$$

Так как процентное содержание растворителя в растворе если больше 70%, то принимаем коэффициент растекаемости $f = 1000$.

Тогда площадь разлива бензина составит, м²

$$S_p = f \frac{m_n}{\rho_{жс}} = 1000 \cdot \frac{8800}{880} = 10000$$

Так как $S_p > S$, то принимаем, что площадь испарения равна площади помещения

$$F_{и} = S = 54 \text{ м}^2$$

6. Время полного испарения бензина, с

$$\tau_n = \frac{m_n}{W \cdot F_{и}} = \frac{8800}{0,00175 \cdot 54} = 93122$$

Время испарения бензина $T_{и}$ принимается равным времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Следовательно $T_{и} = 3600$ с.

7. Масса паров бензина, испарившихся с поверхности разлива в результате расчетной аварии в помещении, кг

$$m_{и} = W \cdot F_{и} \cdot T_{и} = 0,00175 \cdot 54 \cdot 3600 = 340,2$$

8. Значение коэффициента, учитывающего работу вентиляции

$$K = A_B \cdot T + 1 = \frac{20 \cdot 3600}{3600} + 1 = 21,$$

где A_B – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с⁻¹; T – продолжительность поступления паров ЛВЖ в объем помещения, с (принимается равным времени испарения).

Тогда, с учетом работы вентиляции, масса паров ЛВЖ, испарившихся с поверхности разлива, кг

$$m_u^* = \frac{m_u}{K} = \frac{340,2}{21} = 16,2$$

9. Значение НКПВ в (г/м³)

$$\varphi_n = \frac{10 \cdot M \cdot \varphi_n(\%)}{V_0} = \frac{10 \cdot 97,2 \cdot 1}{22,413} = 43,37$$

где M – молярная масса, кг · моль⁻¹; V_0 – мольный объем, равный 22,413 м³ · кмоль⁻¹.

Расчетный объем взрывоопасной смеси, в котором поступившее в помещение вещество может образовать взрывоопасную концентрацию на нижнем пределе воспламенения

$$V_{расч.в.с.} = 1,5 \frac{m}{\varphi_n} = 1,5 \frac{16200}{43,37} = 560,3$$

где 1,5 – коэффициент запаса; m – масса поступивших в помещение веществ в результате возможной аварии, г (при выполнении расчета можно принять $m = m_u^*$); φ_n – нижний концентрационный предел воспламенения, г · м⁻³.

10. Относительный объем взрывоопасной смеси, %

$$B = \frac{V_{расч.в.с.}}{V_{св}} \cdot 100 = \frac{560,3}{172,8} \cdot 100 = 324,2$$

Так как относительный объем взрывоопасной смеси превышает 5 % свободного объема помещения, то, согласно п.7.3.39 ПУЭ, взрывоопасная зона занимает весь объем помещения.

Варианты заданий для самостоятельного решения

Рассчитать размеры взрывоопасной зоны в помещении насосного зала. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1. Кратность воздухообмена в помещении $A_B = 20 \text{ ч}^{-1}$. Температура воздуха в помещении $T_0 = 293 \text{ К}$. В насосном зале установлены насосы производительностью $q = 120 \text{ м}^3/\text{час}$; время ручного закрытия задвижки $\tau_3 = 300 \text{ с} = 5 \text{ мин}$.

Таблица 1.

	Размеры зала, м ДхШхВ	Характеристика вещества				
		Наименование	Молекуляр- ная масса	Плотность, кг/м ³	Константы Антуана А, В, С _А	НКПВ, %
1	84x25x10	Изооктан	114,23	703	6,01307 1319,529 211,625	5,8
2	72x24x6	Бензол	78,11	873,68	5,61391 902,275 178,099	1,43
3	120x24x10	Изопентан	72,15	619,6	5,91799 1022,511 233,493	1,36
4	64x20x6	Толуол	92,14	866,9	6,0507 1328,171 217,713	1,27
5	68x22x10	Хлорбензол	112,56	1105,8	6,38605 1607,316 235,351	1,4
6	102x30x12	Этиловый спирт	46,07	785	7,81158 1918,508 252,125	3,6
7	72x34x12	Этилацетат	88,10	900,3	6,22672 1244,951 217,881	2
8	60x30x10	Бутиловый спирт	74,12	805,5	8,72232 2664,684 279,638	1,8
9	84x24x8	Ксилол	106,17	855	6,17972 1478,16 220,535	1,1
10	76x28x8	Циклогексан	84,16	773	5,96991 1203,526 222,863	1,3

Практическое занятие 3

Выбор электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных зон

Цель работы

1. Изучение методики перевода маркировки взрывозащищенного электрооборудования, выполненной по ПИВЭ и ПИВРЭ в маркировку по ПУЭ (ФЗ №123).
2. Изучение методики экспертизы степени защиты электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных зон.

Вопросы для подготовки к занятию

- Классификация взрывоопасных смесей по категориям и группам?
- Уровни взрывозащиты электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Виды взрывозащиты электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Группы и подгруппы взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Температурные классы взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Схема маркировки взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

1. Маркировка электрооборудования по ПИВРЭ и ПИВЭ

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования выполнялась по следующим нормативным документам:

ПИВЭ – Правила изготовления взрывозащищенного электрооборудования – с 1964г:

ПИВРЭ - Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования – с 1969 г.

С 1978 г. маркировка взрывозащищенного электрооборудования выполняется согласно ПУЭ (ГОСТ).

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ПИВРЭ приведена в Приложении 2 ПУЭ.

Схема маркировки по ПИВРЭ

1	2	3	4
Н	1	T1	В
В	2	T2	П
О	3	T3	И
4		T4	К
		T5	М
			А
			С
			Н

1 - уровень взрывозащиты электрооборудования (Приложение 2 с.629 ПУЭ);

2 – наивысшая категория взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным (табл. П1.1 с.627 ПУЭ);

3 - наивысшая группа взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным (табл. П1.2 с.627 ПУЭ);

4 - вид взрывозащиты электрооборудования (Приложение 2 с.629 ПУЭ).

Пример 1.

В4Т3 В

	ПИВРЭ	ПУЭ
Уровень взрывозащиты	В	1
Вид взрывозащиты	В	d
Категория взр.оп. смеси	4	IIA, IIB, IIC → знак подгруппы эл.об.

		IIС (табл.7.3.6 ПУЭ)
Группа взр.оп. смеси	T3	T1-T3 → температ. класс
эл.обор. -		

T3 (табл.7.3.7 ПУЭ)

Итого: 1ExdIICT3

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ПИВЭ приведена в Приложении 3 ПУЭ.

Схема маркировки по ПИВЭ

1	2	3
В	1	А
П	2	Б
И	3	Г
М	4	Д
С		
Н		

1 - вид взрывозащиты электрооборудования (Приложение 2 с.629 ПУЭ);

2 - наивысшая категория взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным (табл. П1.1 с.627 ПУЭ) – для электрооборудования с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка»; для электрооборудования с остальными видами взрывозащиты, являющегося взрывозащищенным для взрывоопасных смесей всех категорий, вместо обозначения категории взрывоопасной смеси ставится цифра 0;

3 - наивысшая группа взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным (табл. П1.3 с.627 ПУЭ).

Взрывозащищенное электрооборудование с маркировкой по ПИВЭ на уровни взрывозащиты не подразделялось. Если в маркировке по взрывозащите есть буква Н или цифра 2 перед буквой И, то такое соответствует уровню взрывозащиты «электрооборудование повышенной надежности против взрыва» по ПУЭ (цифра 2 в маркировке). Электрооборудование с остальными маркировками по взрывозащите, выполненными по ПИВЭ, соответствует уровню «взрывобезопасное электрооборудование» (цифра 1 в маркировке).

Пример 2.

ВЗД

	ПИВЭ	ПУЭ	
Уровень взрывозащиты	-	1	
Вид взрывозащиты	В	d	
Категория взр.оп. смеси	3	IIВ	→ знак подгруппы эл.об. – IIВ (табл.7.3.6 ПУЭ)
Группа взр.оп. смеси	Д	T1 – T5	→ температур. класс эл.обор. T5 (табл.7.3.7 ПУЭ)

Итого: 1 Ex d IIВ T5

Задачи для решения на занятии

Задача 1. Перевести маркировки электрооборудования по ПИВРЭ Н4Т4-В, В3Т3-М, О4Т5-И в маркировки по ПУЭ.

Задача 2. Перевести маркировки электрооборудования по ПИВЭ В3Г, В4А, ИЗГ в маркировки по ПУЭ.

2. Методика выбора электрооборудования для взрывоопасных зон

При выполнении экспертизы электрооборудования, установленного во взрывоопасных зонах, необходимо руководствоваться требованиями, приведенными в главе 7.3 [1].

Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в химически активных, влажных или пыльных средах, должно быть также защищено соответственно от воздействия химически активной среды, сырости и пыли.

Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в наружных установках, должно быть пригодно также и для работы на открытом воздухе или иметь устройство для защиты от атмосферных воздействий (дождя, снега, солнечного излучения и т. п.).

Взрывозащищенное электрооборудование, выполненное для работы во взрывоопасной смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом, сохраняет свои свойства, если находится в среде с взрывоопасной смесью тех категорий и группы, для которых выполнена его взрывозащита, или находится в среде с взрывоопасной смесью, отнесенной согласно таблицам 7.3.1 и 7.3.2 [1] к менее опасным категориям и группам.

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIa рекомендуется применять электрооборудование, предназначенное для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом. При отсутствии такого электрооборудования допускается во взрывоопасных зонах класса В-II применять взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом, а в зонах класса В-IIa - электрооборудование общего назначения (без взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли. При этом температура поверхности электрооборудования, на которую могут осесть горючие пыли или волокна, должна быть не менее чем на 50°C ниже температуры тления пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры самовоспламенения для нетлеющих пылей.

Выбор электрооборудования для работы во взрывоопасных зонах должен производиться по табл. 7.3.10-7.3.12 [1]. При необходимости допускается обоснованная замена электрооборудования, указанного в таблицах, электрооборудованием с более высоким уровнем взрывозащиты и более высокой степенью защиты оболочки. Например, вместо электрооборудования

уровня "повышенная надежность против взрыва" может быть установлено электрооборудование уровня "взрывобезопасное" или "особовзрывобезопасное".

В зонах, взрывоопасность которых определяется горючими жидкостями, имеющими температуру вспышки выше 61°C может применяться любое взрывозащитное электрооборудование для любых категорий и группы с температурой нагрева поверхности, не превышающей температуру самовоспламенения данного вещества.

Методика выбора заключается в следующем.

1) Определяем класс зоны с учетом свойств обрабатываемых веществ и особенностей технологического процесса (п. 7.3.40 – 7.3.46 ПУЭ);

2) согласно классу зоны находим уровень взрывозащиты электрооборудования (табл. 7.3.10 – 7.3.12 ПУЭ);

3) выбираем вид взрывозащиты. Принимаем фактический вид взрывозащиты электрооборудования, но учитываем, что виды взрывозащиты «р» и «е» обеспечивают уровни взрывозащиты 2 и 1, а остальные виды взрывозащиты обеспечивают уровни 2, 1, 0.

4) определяем в зависимости от свойств обрабатываемых веществ:

– для горючих газов и паров ЛВЖ – категорию и группу взрывоопасной смеси (табл. 7.3.3 ПУЭ);

– для взрывоопасных пылей и волокон – температуру тления для тлеющих пылей или температуру самовоспламенения для нетлеющих пылей (табл. 7.3.4 ПУЭ);

5) согласно определенной категории взрывоопасной смеси находим знак группы электрооборудования, (а для видов взрывозащиты «р» и «е» - знак подгруппы электрооборудования) (табл. 7.3.6 ПУЭ); для электрооборудования, работающего в среде, опасной по пыли, знак подгруппы электрооборудования может быть любой, поэтому принимаем фактический;

6) согласно определенной группе взрывоопасной смеси находим температурный класс электрооборудования (табл. 7.3.7 ПУЭ). Для электрооборудования, работающего в среде, опасной по пыли, сначала определяем предельную температуру на поверхности электрооборудования согласно п 7.3.63 ПУЭ

$$t_{пред} \leq t_{тления} - 50^{\circ} - \text{для тлеющих пылей или}$$

$$t_{пред} \leq \frac{2}{3} \cdot t_{самовоспламенения} - \text{для нетлеющих пылей,}$$

а затем по табл. 7.3.7. ПУЭ находим температурный класс электрооборудования.

Практическое занятие 4

Экспертиза электрооборудования

Цель работы: решение задач по экспертизе степени защиты электрооборудования для взрывоопасных зон.

Вопросы для подготовки к занятию

- Классификация взрывоопасных смесей по категориям и группам?
- Уровни взрывозащиты электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Виды взрывозащиты электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Группы и подгруппы взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Температурные классы взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?
- Схема маркировки взрывозащищенного электрооборудования по ПУЭ и ФЗ №123?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

Пример проверки соответствия электрооборудования окружающей среде

Исходные данные

Насосная станция по перекачке светлых нефтепродуктов. Обращаемое вещество – бензин А-92. В насосном зале станции установлены два насоса перекачки нефтепродуктов с электродвигателями марки ВАО91-2, степень защиты В3Г. Питание электродвигателей насосов – со щита ЩСУ, расположенного в помещении электрощитовой проводом марки АПВ, проложенным в стальной водогазопроводной трубе. Для местного управления около электродвигателей насосов установлены кнопочные посты управления типа КУ-92, степень защиты В3Г. Светильники взрывозащищенные типа В4А-200, подвесные, с лампой накаливания, степень защиты В4А. Групповая

осветительная сеть выполнена проводом марки АПВ, проложенным в стальной водогазопроводной трубе.

Проверка соответствия силового и осветительного электрооборудования нормативным требованиям

Категория и группа взрывоопасной смеси

Согласно ПУЭ (таблица 7.3.3 [1]), взрывоопасная смесь паров бензина относится к категории IIА и группе ТЗ.

Класс взрывоопасной зоны

Согласно ПУЭ (п. 7.3.41 [1]), помещение насосного зала относится к классу зоны В-Iа, что соответствует зоне класса 2 по ФЗ №123 [2].

Знак группы(подгруппы) и температурного класса электрооборудования

Так как взрывоопасная смесь в насосном зале относится к категории IIА и группе ТЗ, то согласно таблице 7.3.6 [1] электрооборудование, расположенное в данном помещении, должно иметь знак группы электрооборудования II или знак подгруппы электрооборудования IIА. Согласно таблице 7.3.7[1], температурный класс электрооборудования, применяемого в данной взрывоопасной среде, должен быть не ниже ТЗ. Знак уровня взрывозащиты для конкретного вида электрооборудования определяется по таблицам 7.3.10 -7.3.12 [1]. Вид взрывозащиты может быть любой.

Электродвигатели

Фактически – ВАО91-2, исполнение взрывозащищенное, степень защиты ВЗГ (по ПИВЭ), что соответствует 1ExdIIBT4 (по ПУЭ).

По нормам – уровень взрывозащиты – 2 (повышенной надежности против взрыва, таблица 7.3.10[1]), знак подгруппы электрооборудования IIА, температурный класс электрооборудования не ниже ТЗ.

Вывод: степень защиты электродвигателей соответствуют требованиям ПУЭ (п.7.3.65 [1]).

Кнопочный пост управления

Фактически – КУ-92, исполнение взрывозащищенное, степень защиты ВЗГ (по ПИВЭ), что соответствует 1ExdIIBT4 (по ПУЭ).

По нормам – уровень взрывозащиты – 2 (повышенной надежности против взрыва, таблица 7.3.11[1]), знак подгруппы электрооборудования ПА, температурный класс электрооборудования не ниже ТЗ.

Вывод: степень защиты кнопочных постов управления соответствуют требованиям ПУЭ (п.7.3.65 [1]).

Силовая распределительная сеть

Фактически – провод АПВ (провод с алюминиевой жилой, с поливинилхлоридной изоляцией), проложен в водогазопроводной трубе.

По нормам - небронированный кабель или провод с медными жилами, с резиновой, поливинилхлоридной или бумажной изоляцией, в резиновой, поливинилхлоридной или свинцовой оболочке (п.7.3.93, п.7.3.102 [1]). Прокладка – кабели в коробах или стальных водогазопроводных трубах, провода в стальных водогазопроводных трубах (таблица 7.3.14 [1]). Бронированный кабель с медными жилами, проложенный открыто, в каналах или коробах.

Вывод: провод не соответствует по материалу жилы требованиям п.7.3.93 [1]. Заменить на провод с медной жилой, с поливинилхлоридной изоляцией, проложенный в водогазопроводной трубе.

Светильники

Фактически – взрывозащищенные светильники типа В4А-200, подвесные, с лампой накаливания, степень защиты по ПУЭ 1ExdIICT1.

По нормам – взрывозащищенное исполнение, степень защиты по ПУЭ не ниже 2ExdIIAT3 (п.7.3.65 , табл.7.3.12 [1]).

Вывод: степень защиты светильников не соответствуют п.7.3.65 [1]. Заменить на светильники с температурным классом электрооборудования не ниже ТЗ, например ВЗГ-200.

Групповая осветительная сеть

Фактически – провод АПВ (провод с алюминиевой жилой, с поливинилхлоридной изоляцией), проложен в водогазопроводной трубе.

По нормам - небронированный кабель или провод с медными жилами, с резиновой, поливинилхлоридной или бумажной изоляцией, в резиновой, поливинилхлоридной или свинцовой оболочке (п.7.3.93, п.7.3.102 [1]). Прокладка – кабели в коробах или стальных водогазопроводных трубах, провода в стальных водогазопроводных трубах (таблица 7.3.14 [1]). Бронированный кабель с медными жилами, проложенный открыто, в каналах или коробах.

Вывод: провод не соответствует по материалу жилы требованиям п.7.3.93 [1]. Заменить на провод с медной жилой, с поливинилхлоридной изоляцией, проложенный в водогазопроводной трубе.

Варианты заданий для самостоятельного решения

1. Помещение расфасовки подсолнечного пищевого белка. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExrIIТ2, магнитный пускатель – В4Т5-М, светильник – В3А.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

2. Автоэстакада по наливу бензина А-80. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExeIIТ1, магнитный пускатель – В3Т3-Н, светильник – В3Б.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

3. Помещение расфасовки подсолнечного пищевого белка. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExdIIАТ2, магнитный пускатель – В2Т2-В, светильник – В2А.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

4. Склад баллонов с синильной кислотой (открытый). Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExqIIТ2, магнитный пускатель – Н3Т1-Н, светильник – Н3А.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

5. Помещение расфасовки подсолнечного пищевого белка. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExiIIВТ2, магнитный пускатель – В4Т1-Н, светильник – В3Г.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

6. Участок розлива растворителя №651 в мелкую тару (в помещении). Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExiIIАТ2, магнитный пускатель – Н1Т2-В, светильник – В2Б.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

7. Помещение расфасовки подсолнечного пищевого белка. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExsIIТ1, магнитный пускатель – Н4Т1-Н, светильник – В4Д.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

8. Открытый склад баллонов с пропиленом. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 2ExeIIТ3, магнитный пускатель – Н4Т1-Н, светильник – В4Д.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

8. Помещение расфасовки порошковой краски П-ЭП-177. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 1ExdIICT1, магнитный пускатель – В4Т2-В, светильник – НЗГ.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

9. Автоэстакада по наливу бензина А-80. Степень защиты установленного оборудования: электродвигатель – 2ExiIIAT1, магнитный пускатель – Н2Т2-В, светильник – ВЗД.

Сделать выводы о соответствии степени защиты классу зоны.

Практическое занятие 5

Тепловой расчет силовой сети

Цель работы: изучение методики расчета сечения проводников по допустимому тепловому нагреву и параметров аппаратов защиты для силовой сети

Вопросы для подготовки к занятию

- Как определяются номинальный и пусковой токи электродвигателей?
- Как определяется рабочий ток силовой сети?
- Основные параметры плавких предохранителей?
- Основные параметры автоматических выключателей?
- По какому нормативному документу определяются длительно допустимые токи проводников?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

1. Пример теплового расчета силовой сети

Исходные данные

Насосная станция по перекачке бензина. В насосном зале станции установлен 2 насоса с электродвигателями марки ВАО.

Данные электродвигателя: номинальная мощность $P_n = 40$ кВт; коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,87$; коэффициент полезного действия $\eta = 0,91$; кратность пускового тока $k_{\Pi} = 6$.

Питание электродвигателя насоса – со щита ЩС, расположенного в помещении электрощитовой проводом ПРТО 4(1х16) длиной 15 м, проложенным в стальной водогазопроводной трубе.

В качестве пусковой и защитной аппаратуры используются установленные на щите ЩС автомат АЕ2056, $I_{н.комб} = 100$ А.

Щит ЩС запитан от трансформатора мощностью $S_T = 600$ кВА ($\cos\varphi = 0,8$ и $K_3 = 0,9$), расположенном в отдельно стоящем здании трансформаторной подстанции. Питающий кабель АВВБ 3х120+1х70 длиной 75 м, проложен в земле.

Определение класса зоны насосного зала

Так как бензин является ЛВЖ (табл. 7.3.3 ПУЭ), то согласно п.7.3.41 ПУЭ помещение насосного зала относится к взрывоопасным зонам класса В-Ia, что соответствует зоне класса 2 по ФЗ №123.

Расчет сечения проводников силовой сети по условиям допустимого теплового нагрева

1) Рассчитаем номинальный и пусковой токи двигателя.

Номинальный ток двигателя, А

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi},$$

где P_n – номинальная мощность двигателя, кВт; $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности; η – коэффициент полезного действия.

$$I_n = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,87} = 78 \text{ А}$$

Пусковой ток двигателя

$$I_n = I_n \cdot k_n,$$

где k_n – кратность пускового тока.

$$I_n = 78 \cdot 6 = 468 \text{ А.}$$

2) Определяем необходимое сечение провода

Необходимое сечение провода определяем исходя из величины длительно допустимого тока согласно п. 7.3.97 ПУЭ

$$I_{\text{дл}} \geq I_p$$

где I_p – рабочий ток нагрузки.

Во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II, В-IIa

$$I_p = 1,25 \cdot I_n = 1,25 \cdot 78 = 97,5 \text{ А.}$$

Следовательно

$$I_{\text{дл}} \geq 97,5 \text{ А.}$$

По табл.1.3.4 ПУЭ принимаем сечение жилы провода $S = 35 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{дл}} = 115 \text{ А}$. Фактически установленный провод ПРТО 3(1х16) не соответствует требованиям, так как его длительно допустимый ток (75 А) меньше необходимого (97,5 А).

Проверка параметров аппаратов защиты

1) Определяем правильность выбора номинального тока комбинированного расцепителя ($I_{\text{н.комб}} = 100 \text{ А}$) автомата АЕ2056.

$$I_{\text{комб}} \geq I_p = 97,5 \text{ А.}$$

Согласно справочным данным, принимаем $I_{\text{н.комб}} = 100 \text{ А}$. Соотношение

$$I_{\text{н.комб}} = 100 > I_p = 97,5$$

удовлетворяется.

Проверяем правильность выбора автомата АЕ2056 на возможность возникновения ложных отключений

$$I_{\text{ср.эл.м.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} ;$$

$$I_{\text{ср.тепл}} \geq 1,25 \cdot I_n .$$

По справочным данным принимаем

$$I_{\text{ср.эл.м.}} = 12 \cdot I_{\text{н.эл.м.}} = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ А} ;$$

$$I_{\text{ср.тепл}} = 1,15 \cdot I_{\text{н.тепл}} = 1,15 \cdot 100 = 115 \text{ А} .$$

Соотношения

$$I_{\text{ср.эл.м.}} = 1200 \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 468 = 585 \text{ и}$$

$$I_{ср.тепл} = 115 \geq 1,25 \cdot I_H = 1,25 \cdot 78 = 97,5$$

выполняются. Таким образом, номинальный ток расцепителя автомата принят правильно.

2) Проверяем правильность выбора автомата АЕ2056 по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемой группы

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{ср.эл.м}} \geq 1,4$$

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{н.тепл}} \geq 6$$

Для автомата с комбинированным расцепителем достаточно выполнения одного из условий.

Ток однофазного КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью

$$I_{кз(к)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}},$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети, В ; $Z_{(\phi-o)}$ - полное сопротивление цепи тока КЗ для петли «фаза – нуль».

Полное сопротивление цепи петли «фаза – нуль» определяем по формуле

$$Z_{(\phi-o)} = \sqrt{(\sum r_{\phi} + \sum r_{\partial} + \sum r_0)^2 + (\sum x_{\phi} + \sum x_0)^2} + z_{T(1)},$$

где r_{ϕ} , X_{ϕ} - активное и индуктивное сопротивление фазного провода, Ом; r_0 , X_0 - активное и индуктивное сопротивление нулевого проводника, Ом; r_{∂} - добавочное активное сопротивление переходных контактов, Ом.; $z_{T(1)}$ - расчетное полное сопротивление трансформатора току КЗ на корпус, Ом.

Сопротивление проводника, Ом

$$r = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где ρ - удельное сопротивление материала проводника, Ом · мм²/м; l - длина проводника, м; S - сечение проводника, мм².

$$\sum r_{\phi} = r_{\phi ABBB} + r_{\phi ПРТО} = 0,032 \frac{75}{120} + 0,019 \frac{15}{35} = 0,02 + 0,03 = 0,05 \text{ Ом} ;$$

$$\sum r_o = 0,035 \text{ Ом} ;$$

$$\sum r_0 = r_{0 ABBB} + r_{0 ПРТО} = 0,032 \frac{75}{70} + 0,019 \frac{15}{35} = 0,04 + 0,03 = 0,07 \text{ Ом} ;$$

Индуктивным сопротивлением проводников можно пренебречь

$$\sum X_{\phi} = 0 ; \quad \sum X_o = 0 .$$

По справочным данным для трансформатора мощностью $S_T = 630$ кВА сопротивление $z_{T(1)} = 0,129$ Ом.

Тогда

$$z_{\phi-o} = \sqrt{(0,05 + 0,035 + 0,07)^2} + 0,129 = 0,284 \text{ Ом} ;$$

$$I_{кз(к)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}} = \frac{220}{0,284} = 775 \text{ А}$$

Проверяем условия

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{ср.эл.м}} = \frac{775}{1200} = 0,64 < 1,4$$

Условие не выполняется.

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{н.тепл}} = \frac{775}{100} = 7,75 \geq 6 .$$

Условие выполняется.

Таким образом, номинальный ток расцепителя автомата по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемой группы принят правильно.

3) Проверяем автомат АЕ2056 по предельной отключающей способности токов короткого замыкания в начале группы исходя из условия

$$I_{np.o} \geq I_{кз(н)} ,$$

где $I_{np.o} = 9000$ А для автомата АЕ2056.

Ток трехфазного КЗ в начале защищаемой сети

$$I_{кз(н)(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi}} .$$

Значение Z_{ϕ} определяется по формуле

$$Z_{(\phi-0)} = \sqrt{\left(r_{\phi} + \sum r_{\partial} + r_T\right)^2 + \left(X_{\phi} + X_T\right)^2} ,$$

где r_{ϕ} , X_{ϕ} - активное и индуктивное сопротивление фазы кабеля ААБ, Ом ; r_T , X_T - активное и индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора, Ом ; r_{∂} - добавочное активное сопротивление переходных контактов, Ом .

$$r_{\phi} = \rho \cdot \frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 0,032 \cdot \frac{75}{120} = 0,02 \text{ Ом} ;$$

$$X_{\phi} = a \cdot l_{\phi} = 0,07 \cdot 0,075 = 0,005 \text{ Ом},$$

где a – среднее значение индуктивного сопротивления проводника, Ом/км; l_{ϕ} – длина кабеля, км .

$$r_T = \frac{c}{S_T} = \frac{2,5}{600} = 0,004 \text{ Ом} ,$$

где c – коэффициент, равный 2,5 для трансформаторов мощностью от 180 до 1000 кВА [3], S_T – мощность трансформатора, кВА.

$$X_T = d \cdot r_T = 3 \cdot 0,004 = 0,012 \text{ Ом} ,$$

где d - коэффициент, равный 3 для трансформаторов мощностью от 180 до 1000 кВА [3]

.

$$\sum r_{\partial} = 0,035 \text{ Ом.}$$

Тогда

$$Z_{\phi} = \sqrt{(0,02 + 0,035 + 0,004)^2 + (0,005 + 0,012)^2} = 0,057 \text{ Ом.}$$

Следовательно

$$I_{\kappa 3(n)(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi}} = \frac{380}{1,73 \cdot 0,057} = 3854 \text{ А} .$$

Таким образом, условие

$$I_{\text{пр.о}} = 9000 \text{ А} \geq I_{\kappa 3(n)} = 3854 \text{ А}$$

выполняется.

Практическое занятие 6

Тепловой расчет осветительной сети

Цель работы: изучение методики расчета сечения проводников по допустимому тепловому нагреву и параметров аппаратов защиты для осветительной сети и методики расчета сечения проводников по допустимой потере напряжения.

Вопросы для подготовки к занятию

- Методика теплового расчета осветительной сети?
- Методика расчета сечения проводников исходя из условий допустимой потери напряжения?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

Проверка параметров аппаратов защиты и сечения проводников осветительной сети

Исходные данные

Насосная станция по перекачке светлых нефтепродуктов. Обращаемое вещество – топливо дизельное.

Щит ЩСУ запитан от трансформатора мощностью $S_t = 250$ кВА ($\cos \varphi = 0,8$ и $K_z = 0,9$), расположенном в отдельно стоящем здании трансформаторной подстанции. Питающий кабель ААБ 3х95+1х35 длиной 180 м, проложен в земле.

Питание групповой осветительной сети выполняется от осветительного щитка ОЩВ-6, расположенного в помещении электрощитовой. В щитке установлены 6 автоматов А3161, $I_{н.менл} = 15$ А.. Для освещения насосного зала использованы 3 автомата, в каждой группе установлено по 3 светильника. Напряжение питания сети электроосвещения $U_\phi = 200$ В.

Питание щитка ОЩВ-6 выполняется со щита ЩСУ кабелем АВВГ 3х4 + 1х2,5 длиной 5 м.

Для освещения насосного зала использованы 9 подвесных взрывозащищенных светильников типа ВЗГ-200 с лампой накаливания мощностью 200 Вт. Групповая осветительная сеть выполнена проводом марки ПВ 2(1х1,5), проложенным в стальной водогазопроводной трубе.

Проведем расчет группы №3 осветительного щитка ОЩВ-6, в котором установлены 6 автоматов А3161. От данной группы запитаны три светильника типа ВЗГ-200, установленных в насосном зале.

Расчет сечения проводников осветительной сети по условиям допустимого теплового нагрева

1) Определяем суммарную установленную мощность группы, Вт

$$\sum P_n = P_1 \cdot n = 200 \cdot 3 = 600 ,$$

где P_1 – мощность одной лампы, Вт; n – количество ламп.

2) Определяем необходимое сечение провода

Необходимое сечение провода определяем исходя из величины длительно допустимого тока согласно условия

$$I_{дл} \geq I_p ,$$

где $I_{дл}$ – допустимый длительный ток провода, А ; I_p – рабочий ток нагрузки, А.

$$I_p = \frac{\sum P_n}{U_{\phi}} = \frac{600}{220} = 2,7 \text{ А.}$$

По таблице 1.3.4 [1] принимаем сечение жилы провода $S = 1,5 \text{ мм}^2$ с $I_{дл} = 19 \text{ А}$.

Условие $19 \text{ А} > 2,7 \text{ А}$ выполняется.

Фактически сеть выполнена проводом ПВ 2(1х1,5). Следовательно, принятое сечение проводов соответствует имеющейся нагрузке.

Проверка параметров аппаратов защиты

1) Определяем правильность выбора номинального тока теплового расцепителя ($I_{н.тепл} = 15 \text{ А}$) автомата А3161.

Правильность выбора проверяем по соотношениям

$$I_{н.тепл} \geq I_p \text{ и}$$

$$I_{н.тепл} \leq I_{\partial л} .$$

Согласно справочным данным, принимаем $I_{н.тепл} = 15 \text{ А}$.

Следовательно, соотношения

$$I_{н.тепл} = 15 \text{ А} \succ I_p = 2,7 \text{ А} \text{ и}$$

$$I_{н.тепл} = 15 \text{ А} \prec I_{\partial л} = 19 \text{ А}$$

удовлетворяются. Автомат выбран правильно.

2) Проверяем правильность выбора автомата АЗ161 по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемой группы

$$\frac{I_{кз(к)}}{I_{н.тепл}} \geq 6 .$$

Ток однофазного КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью, А

$$I_{кз(к)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}} ,$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети, В; $Z_{(\phi-o)}$ - полное сопротивление цепи тока КЗ для петли «фаза – нуль», Ом.

Полное сопротивление цепи петли «фаза – нуль» определяем по формуле

$$Z_{(\phi-o)} = \sqrt{\left(\sum r_{\phi} + \sum r_{\partial} + \sum r_0\right)^2 + \left(\sum X_{\phi} + \sum X_0\right)^2} + Z_{T(1)} ,$$

где r_{ϕ} , X_{ϕ} - активное и индуктивное сопротивление фазного провода, Ом; r_0 , X_0 - активное и индуктивное сопротивление нулевого проводника, Ом; r_{∂} - добавочное активное сопротивление переходных контактов, Ом; $Z_{T(1)}$ - расчетное полное сопротивление трансформатора току КЗ на корпус, Ом.

Сопротивление проводника, Ом

$$r = \rho \cdot \frac{l}{S} ,$$

где ρ - удельное сопротивление материала проводника, Ом · мм²/м; l - длина проводника, м; S - сечение проводника, мм² .

$$\sum r_{\phi} = r_{\phi AAB} + r_{\phi ABB\Gamma} + r_{\phi ПВ} = 0,032 \frac{180}{95} + 0,032 \frac{5}{4} + 0,019 \frac{16}{1,5} = 0,06 + 0,04 + 0,2 = 0,3$$

$$\sum r_{\partial} = 0,035 \text{ Ом} ;$$

$$\begin{aligned} \sum r_0 &= r_{0 AAB} + r_{0 ABB\Gamma} + r_{0 ПВ} = 0,032 \frac{180}{35} + 0,032 \frac{5}{2,5} + 0,019 \frac{16}{1,5} = \\ &= 0,164 + 0,064 + 0,2 = 0,428 \end{aligned}$$

$$Z_{T(1)} = 0,312 \text{ Ом} [3];$$

$$\sum X_{\phi} = 0 ; \quad \sum X_o = 0 .$$

Тогда

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(0,3 + 0,035 + 0,428)^2} + 0,312 = 1,075 \text{ Ом} ;$$

$$I_{\kappa 3(\kappa)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}} = \frac{220}{1,075} = 205 \text{ А}.$$

Проверяем выполнение соотношения

$$\frac{I_{\kappa 3(\kappa)}}{I_{н.тепл}} = \frac{205}{15} = 13,7 \geq 6 .$$

Данное соотношение выполняется. Следовательно, по условию надежности отключения тока короткого замыкания в конце защищаемой группы автоматический выключатель выбран правильно.

3) Проверяем автомат АЗ161 по предельной отключающей способности токов короткого замыкания в начале группы исходя из условия

$$I_{np.o} \geq I_{кз(н)}$$

где $I_{np.o} = 2500 \text{ А}$ [3].

Ток однофазного КЗ в начале защищаемой сети определяется по формуле

$$I_{кз(н)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}}.$$

Значение $Z_{(\phi-o)}$ определяется по формуле

$$Z_{(\phi-o)} = \sqrt{(\sum r_{\phi} + \sum r_{\partial} + \sum r_0)^2 + (\sum X_{\phi} + \sum X_0)^2} + Z_{T(1)}.$$

$$\sum r_{\phi} = r_{\phi AAB} + r_{\phi ABBГ} = 0,032 \frac{180}{95} + 0,032 \frac{5}{4} = 0,06 + 0,04 = 0,1 \text{ Ом};$$

$$\sum r_{\partial} = 0,035 \text{ Ом};$$

$$\sum r_0 = r_{0AAB} + r_{0ABBГ} = 0,032 \frac{180}{35} + 0,032 \frac{5}{2,5} = 0,164 + 0,064 = 0,228 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{\phi} = 0; \quad \sum X_0 = 0$$

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(0,1 + 0,035 + 0,228)^2} + 0,312 = 0,675 \text{ Ом}.$$

Следовательно

$$I_{кз(н)(\phi-o)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{(\phi-o)}} = \frac{220}{0,675} = 326 \text{ А} .$$

Таким образом, условие $I_{нр.о} = 2500 \text{ А} \geq I_{кз(н)} = 326 \text{ А}$ удовлетворяется.

Расчет сечения проводников осветительной сети исходя из допустимой потери напряжения

Для проводников осветительной сети должно выполняться соотношение

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{доп}} ,$$

где $\Delta U_{\text{факт}}$ - фактическая потеря напряжения в проводнике, % ;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустимая потеря напряжения в проводнике, % .

Фактическая потеря напряжения определяется из выражения

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{\sum P \cdot l}{C \cdot S} ,$$

где P – расчетная мощность нагрузки, кВт; l – длина участка, м; C – коэффициент, учитывающий напряжение, систему питания и материал проводника; S - сечение жилы кабеля или провода.

Общие потери напряжения равны сумме потерь на отдельных участках сети

$$\sum \Delta U_{\text{факт}} = \Delta U_{\text{ААБ}} + \Delta U_{\text{АВВГ}} + \Delta U_{\text{ПВ}} ;$$

$$\Delta U_{\text{ААБ}} = \frac{P \cdot l}{C \cdot S} = \frac{40 \cdot 180}{46 \cdot 95} = 1,65 \% ;$$

$$\Delta U_{\text{АВВГ}} = \frac{2,7 \cdot 5}{46 \cdot 4} = 0,07 \% ;$$

$$\Delta U_{ПВ} = \frac{0,6 \cdot 16}{12,8 \cdot 1,5} = 0,5 \% ;$$

$$\sum \Delta U_{факт} = 1,65 + 0,07 + 0,5 = 2,22 \% .$$

Согласно [3]), для осветительных сетей при мощности трансформатора 250 кВА и $\cos \varphi = 0,8$, допустимая потеря напряжения составляет $\Delta U_{доп} = \pm 4,4$ %.

Следовательно, $\sum \Delta U_{факт} = 0,24 \% < 4,4 \%$, т.е. условие выполняется.

Вывод: осветительная сеть насосного зала соответствует нормативным требованиям.

Практическое занятие 7

Экспертиза электрической сети

Цель работы: выполнение экспертизы сечения проводников по допустимому тепловому нагреву и параметров аппаратов защиты для силовой и осветительной сети и экспертизы сечения проводников по допустимой потере напряжения.

Вопросы для подготовки к занятию

- Методика экспертизы силовой сети?
- Методика экспертизы осветительной сети?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон №123-ФЗ.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

Выполнение экспертиза электрической сети

Исходные данные для экспертизы силовой сети приведены в таблицах 1 и 2 Приложения А. Расчетная схема силовой сети приведена на рисунке 1 приложения.

Исходные данные для экспертизы осветительной сети приведены в таблице А.3 Приложения А. Расчетная схема осветительной сети приведена на рисунке 2 приложения А.

Практическое занятие 8

Расчет заземления

Цель работы

1. Изучение методики расчета заземления.
2. Выполнение экспертизы заземления.

Вопросы для подготовки к занятию

- Назначение заземления и зануления электроустановок?
- Заземляющие устройства электроустановок напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью?

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1/Минэнерго России.- 7-е изд. –М.: Энергоатомиздат, 2002.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

Пример расчета повторного заземления нулевого защитного проводника

Исходные данные

Заземлитель представляет собой контур, расположенный по периметру здания, и состоящий из вертикальных электродов, соединенных горизонтальными электродами.

Вертикальные электроды – 12 шт., сталь оцинкованная диаметром $d = 12$ мм, длиной $l = 5$ м, верхний конец электродов углублен на глубину 0,7 м; расстояние между электродами - 9,5 м,

Горизонтальные электроды - сталь полосовая размером 40х4 мм, длина $l = 104$ м.

Удельное сопротивление грунта – 100 Ом · м, грунт во время измерения сухой.

Согласно п.1.7.103 [1], сопротивление растеканию заземлителя повторного заземления нулевого защитного проводника должно быть не более 30 Ом при линейном напряжении 380 В.

Расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \cdot k = 100 \cdot 1,4 = 140$$

где $\rho_{изм}$ - измеренное удельное сопротивление грунта в месте измерения, Ом·м; k – повышающий коэффициент (Приложение [3]).

Сопротивление одиночного цилиндрического электрода, Ом

$$r_{ов} = 0,366 \frac{\rho_{расч}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 0,366 \frac{140}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,12} + 0,5 \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 21,5 ,$$

где $\rho_{расч}$ - расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м; l – длина трубы или стержня, м; d - диаметр трубы или стержня, м; t – глубина заложения (расстояние от поверхности земли до середины электрода, м).

Сопротивление горизонтального заземлителя, выполненного из полосовой стали, Ом

$$r_{он} = 0,366 \frac{\rho_{расч}}{l} \lg \frac{2l^2}{bt} = 0,366 \frac{140}{104} \lg \left(\frac{2 \cdot 104^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 2,9 ,$$

где l – длина полосы, м; b – ширина полосы, м; t – расстояние от поверхности земли до полосы, м.

Сопротивление вертикальных электродов с учетом экранирования, Ом

$$r_6 = \frac{r_{ов}}{n \cdot \eta_6} = \frac{21,5}{12 \cdot 0,68} = 2,63 ,$$

где n - количество вертикальных электродов; η_6 - коэффициент использования вертикальных заземлителей (Приложение [3]).

Сопротивление горизонтальной соединительной полосы с учетом экранирования, Ом

$$r_{гп} = \frac{r_{он}}{\eta_г} = \frac{2,9}{0,39} = 7,44 ,$$

где η_r - коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы (Приложение [3]).

Сопротивление искусственного заземлителя, Ом

$$r_{иск} = \frac{r_{\theta} \cdot r_r}{r_{\theta} + r_r} r_{иск} = \frac{r_{\theta} \cdot r_{гп}}{r_{\theta} + r_{гп}} = \frac{2,63 \cdot 7,44}{2,63 + 7,44} = 1,94$$

Условие выполняется

$$r_{иск} \leq r_3 ,$$

$$1,94 < 30$$

где r_3 - сопротивление заземлителя согласно п.1.7.103 [1].

Вывод: рассмотренный заземлитель соответствует нормативным требованиям.

Выполнение экспертизы заземления

Исходные данные для экспертизы приведены в Приложении Б (таблица Б.1, рисунок 1).

Практическое занятие 9

Устройство молниезащиты и нормативные требования

Цель работы: изучение основных элементов молниезащиты и нормативных требований к молниезащите различных категорий.

Вопросы для подготовки к занятию

- Физическая сущность молнии?
- Первичные воздействия молнии?
- Вторичные воздействия молнии?
- Классификация защищаемых объектов?

Список рекомендуемой литературы

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87. / Минэнерго СССР. –М.: Энергоатомиздат, 1989.-56с.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. СО 34.21.122-2003.- М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-48 с.
3. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.

1. Основные элементы молниезащиты

Средством защиты от прямых ударов молнии является молниеотвод.

Молниеотводом называется устройство, воспринимающее удар молнии и отводящее ее ток в землю.

Зонай защиты молниеотвода называется пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения.

Зона защиты типа А обладает надежностью 99,5% и выше, а типа Б — 95 % и выше.

Наименьшей и постоянной надежностью обладает поверхность зоны защиты; в глубине зоны защиты надежность выше, чем на ее поверхности.

В общем случае в состав молниеотвода входят:

- 1) *опора*;
- 2) *молниеприемник*, непосредственно воспринимающий удар молнии;
- 3) *токоотвод*, по которому ток молнии передается в землю;
- 4) *заземлитель*, обеспечивающий растекание тока молнии в земле.

В некоторых случаях функции опоры, молниеприемника и токоотвода совмещаются, например при использовании в качестве молниеотвода металлических труб или ферм.

По типу молниеприемника молниеотводы разделяются на следующие виды:

- 1) *стержневые* (вертикальные);
- 2) *тросовые* (протяженные) — с горизонтальным расположением молниеприемника, закрепленного на двух заземленных опорах;
- 3) *сетки* — многократные горизонтальные молниеприемники, пересекающиеся под прямым углом и укладываемые на защищаемое здание.

Стержневые и тросовые молниеотводы могут быть как *отдельно стоящие* так и *установленные на объекте*. Отдельно стоящие молниеотводы — это те, опоры которых установлены на земле на некотором удалении от защищаемого объекта. Отдельно стоящие молниеотводы обеспечивают растекание тока молнии минуя объект. При установке молниеотвода на самом объекте растекание тока происходит по контролируемым путям с целью недопущения поражения током молнии людей и животных. При этом от каждого стержневого молниеприемника или каждой стойки тросового молниеприемника должно быть обеспечено не менее двух токоотводов.

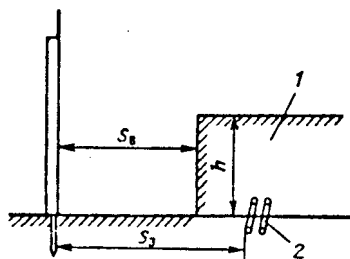


Рис. 1. Отдельно стоящий стержневой молниеотвод:
1 — защищаемый объект; 2 — металлические коммуникации

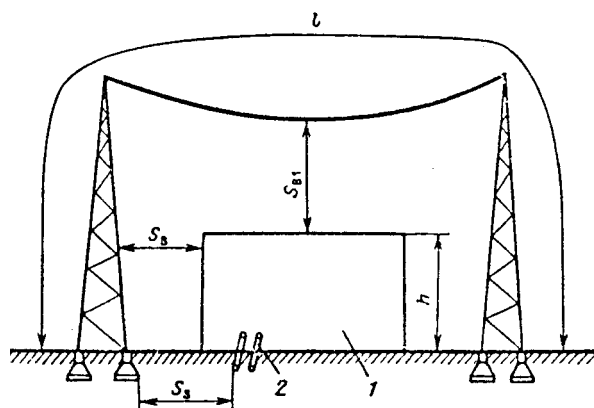


Рис. 2. Отдельно стоящий тросовый молниеотвод

Молниеотводы могут быть *одиночными* и *двойными (многократными)*.

Одиночный молниеотвод — это единичная конструкция стержневого или тросового молниеотвода.

Двойной (многократный) молниеотвод — это два (или более) стержневых или тросовых молниеотвода, образующих общую зону защиты.

Молниеприемная сетка может быть использована на неметаллических кровлях при уклоне не более 1:8. Она укладывается на кровлю сверху или под несгораемые или трудносгораемые утеплитель или гидроизоляцию.

Выполняется из стальной проволоки диаметром $d \geq 6$ мм. Шаг ячеек сетки должен быть не более 6х6 м (молниезащита II категории) или 12х12 м (молниезащита III категории)

Узлы сетки должны быть соединены сваркой. Выступающие над крышей металлические элементы (трубы, шахты, вентиляционные устройства) должны быть присоединены к молниеприемной сетке, а выступающие неметаллические элементы — оборудованы дополнительными молниеприемниками, также присоединенными к молниеприемной сетке.

На зданиях и сооружениях с металлической кровлей в качестве молниеприемника должна использоваться сама кровля. При этом все выступающие неметаллические элементы должны быть оборудованы молниеприемниками, присоединенными к металлу кровли,

Токоотводы от металлической кровли или молниеприемной сетки должны быть проложены к заземлителям не реже чем через 25 м по периметру здания.

Опоры отдельно стоящих молниеотводов выполняют из стали любой марки, железобетона или дерева.

Стержневые молниеприемники выполняют из стали сечением не менее $S \geq 100 \text{ мм}^2$ и длиной не менее $l \geq 200$ мм. Защита от коррозии - оцинкование, лужение или окраска.

Тросовые молниеприемники выполняют из стальных многопроволочных канатов сечением не менее $S \geq 35 \text{ мм}^2$.

Токоотводы для соединения молниеприемников с заземлителями, выполняют из круглой стали диаметром $d \geq 6$ мм или полосы сечением $S \geq 48$ мм² и толщиной $h \geq 4$ мм.

Соединения молниеприемников с токоотводами и токоотводов с заземлителями должны выполняться, как правило, сваркой, а при недопустимости огневых работ разрешается выполнение болтовых соединений с переходным сопротивлением не более 0,05 Ом при обязательном ежегодном контроле последнего перед началом грозового сезона.

Заземлители молниезащиты делятся на *естественные* и *искусственные*.

Естественные заземлители — заглубленные в землю металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений (то есть фундаменты, подножки и стойки опор и т.д.).

Искусственные заземлители — специально проложенные в земле контуры из полосовой ($S \geq 100$ мм², $h \geq 4$ мм) или круглой ($d \geq 6$ мм) стали, а также сосредоточенные конструкции, состоящие из вертикальных и горизонтальных проводников.

Как было рассмотрено на лекции, в результате вторичных проявлений молнии и заноса высокого потенциала внутри защищаемого объекта создается опасность искрения.

Для защиты от вторичных проявлений молнии должны быть предусмотрены следующие мероприятия:

а) металлические конструкции и корпуса всего оборудования и аппаратов, находящиеся в защищаемом здании, должны быть присоединены к заземляющему устройству электроустановок или к железобетонному фундаменту здания;

б) в местах взаимного сближения трубопроводов и других протяженных металлических конструкций на расстояние менее 10 см через каждые 20 м (II категория) или 30 м (III категория) следует установить перемычки из стальной проволоки диаметром не менее 5 мм или стальной ленты сечением не менее 24 мм², для кабелей с металлическими оболочками или броней перемычки должны выполняться из гибкого медного проводника;

в) в соединениях элементов трубопроводов или других протяженных металлических предметов должны быть обеспечены переходные сопротивления не более 0,03 Ом на каждый контакт (I категория). При невозможности обеспечения контакта с указанным переходным сопротивлением с помощью болтовых соединений необходимо устройство стальных перемычек. Для II категории молниезащиты во фланцевых соединениях трубопроводов внутри здания следует обеспечить нормальную затяжку не менее четырех болтов на каждый фланец.

Защита от заноса высокого потенциала по подземным металлическим коммуникациям (трубопроводам, кабелям в наружных металлических оболочках или трубах) должна осуществляться путем их присоединения на вводе в здание или сооружение к арматуре его железобетонного фундамента, а

при невозможности использования последнего в качестве заземлителя — к искусственному заземлителю.

Защита от заноса высокого потенциала по внешним наземным (надземным) металлическим коммуникациям должна осуществляться путем их заземления на вводе в здание или сооружение и на двух ближайших к этому вводу опорах коммуникации. В качестве заземлителей следует использовать железобетонные фундаменты здания или сооружения и каждой из опор, а при невозможности такого использования — искусственные заземлители.

Ввод в здание воздушных линий электропередачи напряжением до 1 кВ, сетей телефона, радио, сигнализации должен осуществляться только кабелями длиной не менее 50 м с металлической броней или оболочкой или кабелями, проложенными в металлических трубах.

На вводе в здание металлические трубы, броня и оболочки кабелей, в том числе с изоляционным покрытием металлической оболочки (например, ААШв, ААШп), должны быть присоединены к железобетонному фундаменту здания или к искусственному заземлителю.

В месте перехода воздушной линии электропередачи в кабель металлические броня и оболочка кабеля, а также штыри или крючья изоляторов воздушной линии должны быть присоединены к заземлителю, указанному в п. 2.2г. К такому же заземлителю должны быть присоединены штыри или крючья изоляторов на опоре воздушной линии электропередачи, ближайшей к месту перехода в кабель.

Кроме того, в месте перехода воздушной линии электропередачи в кабель между каждой жилой кабеля и заземленными элементами должны быть обеспечены закрытые воздушные искровые промежутки длиной 2—3 мм или установлен вентильный разрядник низкого напряжения, например РВН-0,5.

Защита от заноса высоких потенциалов по воздушным линиям электропередачи напряжением выше 1 кВ, вводимым в подстанции, размещенные в защищаемом здании (внутрицеховые или пристроенные), должна выполняться в соответствии с ПУЭ.

2. Нормативные требования к молниезащите различных категорий

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к I и II категориям, должны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных ее проявлений и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) и подземные металлические коммуникации.

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические коммуникации. *Наружные установки*, отнесенные по устройству молниезащиты ко II категории, должны быть защищены от прямых ударов и вторичных проявлений молнии.

Наружные установки, отнесенные по устройству молниезащиты к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии.

Для зданий и сооружений с помещениями, требующими устройства молниезащиты I и II или I и III категорий, молниезащиту всего здания или сооружения следует выполнять по I категории.

Если площадь помещений I категории молниезащиты составляет менее 30% площади всех помещений здания (на всех этажах), молниезащиту всего здания допускается выполнять по II категории независимо от категории остальных помещений. При этом на вводе в помещения I категории должна быть предусмотрена защита от заноса высокого потенциала по подземным и наземным (надземным) коммуникациям.

Для зданий и сооружений с помещениями, требующими устройства молниезащиты II и III категорий, молниезащиту всего здания или сооружения следует выполнять по II категории.

Если площадь помещений II категории молниезащиты составляет менее 30% площади всех помещений здания (на всех этажах), молниезащиту всего здания допускается выполнять по III категории. При этом на вводе в помещения II категории должна быть предусмотрена защита от заноса высокого потенциала по подземным и наземным (надземным) коммуникациям.

В целях защиты зданий и сооружений любой категории от прямых ударов молнии следует максимально использовать в качестве естественных молниеотводов существующие высокие сооружения (дымовые трубы, водонапорные башни, прожекторные мачты, воздушные линии электропередачи и т.п.), а также молниеотводы других близрасположенных сооружений.

Если зданию или сооружению частично вписывается в зону защиты естественных молниеотводов или соседних объектов, защита от прямых ударов молнии должна предусматриваться только для остальной, незащищенной его части. Если в ходе эксплуатации здания или сооружения реконструкция или демонтаж соседних объектов приведет к увеличению этой незащищенной части, соответствующие изменения защиты от прямых ударов молнии должны быть выполнены до начала ближайшего грозового сезона; если демонтаж или реконструкция соседних объектов проводятся в течение грозового сезона, на это время должны быть предусмотрены временные мероприятия, обеспечивающие защиту от прямых ударов молнии незащищенной части здания или сооружения.

МОЛНИЕЗАЩИТА I КАТЕГОРИИ

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к I категории, должна выполняться отдельно стоящими стержневыми или тросовыми молниеотводами.

Указанные молниеотводы должны обеспечивать зону защиты типа А. При этом обеспечивается удаление элементов молниеотводов от защищаемого объекта и подземных металлических коммуникаций

При этом для отдельно стоящих молниеотводов приемлемыми являются следующие конструкции заземлителей:

а) один (и более) железобетонный подножник длиной не менее 2 м или одна (и более) железобетонная свая длиной не менее 5 м;

б) одна (и более) заглубленная в землю не менее чем на 5 м стойка железобетонной опоры диаметром не менее 0,25 м;

в) железобетонный фундамент произвольной формы с площадью поверхности контакта с землей не менее 10 м²;

г) искусственный заземлитель, состоящий из трех и более вертикальных электродов длиной не менее 3 м, объединенных горизонтальным электродом, при расстоянии между вертикальными электродами не менее 5 м.

Наименьшее допустимое расстояние S_b по воздуху от защищаемого объекта до опоры (токоотвода) стержневого или тросового молниеотвода (см. рис. 1 и 2) определяется в зависимости от высоты здания, конструкции заземлителя и эквивалентного удельного электрического сопротивления грунта ρ , Ом·м.

Для зданий и сооружений высотой не более 30 м наименьшее допустимое расстояние S_b , м, равно:

при $\rho < 100$ Ом·м для заземлителя любой конструкции, приведенной в п. 2.2, $S_b = 3$ м;

при $100 < \rho \leq 1000$ Ом·м:

для заземлителей, состоящих из одной железобетонной сваи, одного железобетонного подножника или заглубленной стойки железобетонной опоры, $S_b = 3 + 10^{-2} (\rho - 100)$;

для заземлителей, состоящих из четырех железобетонных свай либо, подножников, расположенных в углах прямоугольника на расстоянии 3—8 м один от другого, или железобетонного фундамента произвольной формы с площадью поверхности контакта с землей не менее 70 м² или искусственных заземлителей, $S_b = 4$ м.

Для зданий и сооружений большей высоты определенное выше значение S_b должно быть увеличено на 1 м в расчете на каждые 10 м высоты объекта сверх 30 м.

Наименьшее допустимое расстояние S_b от защищаемого объекта до троса в середине пролета (рис. 2) определяется в зависимости от конструкции заземлителя, эквивалентного удельного сопротивления грунта ρ , Ом·м, и суммарной длины l молниеприемников и токоотводов.

При длине $l < 200$ м наименьшее допустимое расстояние S_{bl} , м, равно:

при $\rho < 100$ Ом·м для заземлителя любой конструкции $S_{bl} = 3,5$ м;

при $100 < \rho \leq 1000$ Ом·м:

для заземлителей, состоящих из одной железобетонной сваи, одного железобетонного подножника или заглубленной стойки железобетонной опоры, $S_b = 3,5 + 3 \cdot 10^{-3} (\rho - 100)$;

для заземлителей, состоящих из четырех железобетонных свай или подножников, расположенных на расстоянии 3—8 м один от другого, или искусственных заземлителей, $S_{b1} = 4$ м.

При суммарной длине молниеприемников и токоотводов $l = 200-300$ м наименьшее допустимое расстояние S_{b1} должно быть увеличено на 2 м по сравнению с определенными выше значениями.

Для исключения заноса высокого потенциала в защищаемое здание или сооружение по подземным металлическим коммуникациям (в том числе по электрическим кабелям любого назначения) заземлители защиты от прямых ударов молнии должны быть по возможности удалены от этих коммуникаций на максимальные расстояния, допустимые по технологическим требованиям. Наименьшие допустимые расстояния S_3 , (см. рис. 1 и 2) в земле между заземлителями защиты от прямых ударов молнии и коммуникациями, вводимыми в здания и сооружения I категории, должны составлять $S_3 = S_b + 2$ (м), при S_b по п. 2.3.

При наличии на зданиях и сооружениях прямых газоотводных и дыхательных труб для свободного отвода в атмосферу газов, паров и взвесей взрывоопасной концентрации в зону защиты молниеотводов должно входить пространство над обрезом труб, ограниченное полушарием радиусом 5 м.

МОЛНИЕЗАЩИТА II КАТЕГОРИИ

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений II категории с неметаллической кровлей должна быть выполнена отдельно стоящими или установленными на защищаемом объекте стержневыми или тросовыми молниеотводами. При установке молниеотводов на объекте от каждого стержневого молниеприемника или каждой стойки тросового молниеприемника должно быть обеспечено не менее двух токоотводов. При уклоне кровли не более 1:8 может быть использована также молниеприемная сетка.

При прокладке молниеприемной сетки и установке молниеотводов на защищаемом объекте всюду, где это возможно, в качестве токоотводов следует использовать металлические конструкции зданий и сооружений (колонны, фермы, рамы, пожарные лестницы и т.п., а также арматуру железобетонных конструкций) при условии обеспечения непрерывной электрической связи в соединениях конструкций и арматуры с молниеприемниками и заземлителями, выполняемых, как правило, сваркой.

Токоотводы, прокладываемые по наружным стенам зданий, следует располагать не ближе чем в 3 м от входов или в местах, не доступных для прикосновения людей.

. В качестве *заземлителей* защиты от прямых ударов молнии во всех возможных случаях следует использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений.

При невозможности использования фундаментов предусматриваются искусственные заземлители:

при наличии стержневых и тросовых молниеотводов каждый токоотвод присоединяется к заземлителю, отвечающему соответствующим требованиям;

при наличии молниеприемной сетки или металлической кровли по периметру здания или сооружения прокладывается наружный контур следующей конструкции:

в грунтах с эквивалентным удельным сопротивлением $\rho \leq 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при площади здания более 250 м^2 выполняется контур из горизонтальных электродов, уложенных в земле на глубине не менее 0,5 м, а при площади здания менее 250 м^2 к этому контуру в местах присоединения токоотводов приваривается по одному вертикальному или горизонтальному лучевому электроду длиной 2—3 м;

в грунтах с удельным сопротивлением $500 < \rho \leq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при площади здания более 900 м^2 достаточно выполнить контур только из горизонтальных электродов, а при площади здания менее 900 м^2 к этому контуру в местах присоединения токоотводов приваривается не менее двух вертикальных или горизонтальных лучевых электродов длиной 2—3 м на расстоянии 3—5 м один от другого.

В зданиях большой площади наружный контур заземления может также использоваться для выравнивания потенциала внутри здания. Во всех возможных случаях заземлитель защиты от прямых ударов молнии должен быть объединен с заземлителем электроустановок.

При установке *отдельно стоящих молниеотводов* расстояние от них по воздуху и в земле до защищаемого объекта и вводимых в него подземных коммуникаций не нормируется.

Наружные установки, содержащие горючие и сжиженные газы и легковоспламеняющиеся жидкости, следует защищать от прямых ударов молнии следующим образом:

а) корпуса установок из железобетона, металлические корпуса установок и отдельных резервуаров при толщине металла крыши менее 4 мм должны быть оборудованы молниеотводами, установленными на защищаемом объекте или отдельно стоящими;

б) металлические корпуса установок и отдельных резервуаров при толщине металла крыши 4 мм и более, а также отдельные резервуары вместимостью менее 200 м^3 независимо от толщины металла крыши, а также металлические кожухи теплоизолированных установок достаточно присоединить к заземлителю.

. Для резервуарных парков, содержащих сжиженные газы, общей вместимостью более 8000 м^3 , а также для резервуарных парков с корпусами из металла и железобетона, содержащих горючие газы и легковоспламеняющиеся

жидкости, при общей вместимости группы резервуаров более 100 тыс. м³ защиту от прямых ударов молнии следует, как правило, выполнять *отдельно стоящими молниеотводами*.

Если на наружных установках или в резервуарах (наземных или подземных), содержащих горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости, имеются *газоотводные или дыхательные трубы*, то они и пространство над ними должны быть защищены от прямых ударов молнии. Такое же пространство защищается над срезом горловины цистерн, в которые происходит открытый налив продукта на сливноналивной эстакаде. Защите от прямых ударов молнии подлежат также дыхательные клапаны и пространство над ними, ограниченное цилиндром высотой 2,5 м с радиусом 5 м.

Для *резервуаров с плавающими крышами или понтонами* в зону защиты молниеотводов должно входить пространство, ограниченное поверхностью, любая точка которой отстоит на 5 м от легковоспламеняющейся жидкости в кольцевом зазоре.

Для *наружных установок* в качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии следует по возможности использовать железобетонные фундаменты этих установок или (опор отдельно стоящих молниеотводов либо выполнять искусственные заземлители, состоящие из одного вертикального или горизонтального электрода длиной не менее 5 м.

К этим заземлителям, размещенным не реже чем через 50 м по периметру основания установки, должны быть присоединены корпуса наружных установок или токоотводы установленных на них молниеотводов, число присоединений — не менее двух.

Для защиты *наружных установок от вторичных проявлений молнии* металлические корпуса установленных на них аппаратов должны быть присоединены к заземляющему устройству электрооборудования или к заземлителю защиты от прямых ударов молнии.

На резервуарах с плавающими крышами или понтонами необходимо устанавливать не менее двух гибких стальных перемычек между плавающими крышами или понтонами и металлическим корпусом резервуара или токоотводами установленных на резервуаре молниеотводов.

МОЛНИЕЗАЩИТА III КАТЕГОРИИ

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к III категории, должна выполняться так же как для II категории.

Во всех возможных случаях в качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии следует использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений.

При невозможности их использования выполняют искусственные заземлители:

каждый токоотвод от стержневых и тросовых молниеприемников должен быть присоединен к заземлителю, состоящему минимум из двух вертикальных электродов длиной не менее 3 м, объединенных горизонтальным электродом длиной не менее 5 м;

при использовании в качестве молниеприемников сетки или металлической кровли по периметру здания в земле на глубине не менее 0,5 м должен быть проложен наружный контур, состоящий из горизонтальных электродов. В грунтах с эквивалентным удельным сопротивлением $500 < \rho \leq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и при площади здания менее 900 м^2 к этому контуру в местах присоединения токоотводов следует приваривать по одному вертикальному или горизонтальному лучевому электроду длиной 2—3 м.

Минимально допустимые сечения (диаметры) электродов искусственных заземлителей определяются по табл. 3.

В зданиях большой площади (шириной более 100 м) наружный контур заземления может также использоваться для выравнивания потенциалов внутри здания.

Во всех возможных случаях заземлитель защиты от прямых ударов молнии должен быть объединен с заземлителем электроустановки.

При защите строений для крупного рогатого скота и конюшен отдельно стоящими молниеотводами их опоры и заземлители следует располагать не ближе чем в 5 м от входа в строения.

При установке молниеприемников или укладке сетки на защищаемом строении в качестве заземлителей следует использовать железобетонный фундамент или наружный контур, проложенный по периметру строения под асфальтовой или бетонной отмосткой.

К заземлителям защиты от прямых ударов молнии должны быть присоединены находящиеся внутри строения металлические конструкции, оборудование и трубопроводы, а также устройства выравнивания электрических потенциалов.

Защита от прямых ударов молнии *металлических скульптур и обелисков*, обеспечивается присоединением их к заземлителю.

Молниезащита *наружных установок*, содержащих горючие жидкости с температурой вспышки паров выше $61 \text{ }^{\circ}\text{C}$ должна быть выполнена следующим образом:

а) корпуса установок из железобетона, а также металлические корпуса установок и резервуаров при толщине крыши менее 4 мм должны быть оборудованы молниеотводами, установленными на защищаемом сооружении или отдельно стоящими;

б) металлические корпуса установок и резервуаров при толщине крыши 4 мм и более следует присоединять к заземлителю.

Расположенные в *сельской местности* небольшие строения с неметаллической кровлей, подлежат защите от прямых ударов молнии одним из *упрощенных способов*:

а) при наличии на расстоянии 3—10 м от строения деревьев, в 2 раза и более превышающих его высоту с учетом всех выступающих на кровле предметов (дымовые трубы, антенны и т.д.), по стволу ближайшего из деревьев должен быть проложен токоотвод, верхний конец которого выступает над кроной дерева не менее чем на 0,2 м. У основания дерева токоотвод должен быть присоединен к заземлителю;

б) если конек кровли соответствует наибольшей высоте строения, над ним должен быть подвешен тросовый молниеприемник, возвышающийся над коньком не менее чем на 0,25 м. Опорами для молниеприемника могут служить закрепленные на стенах строения деревянные планки. Токоотводы прокладывают с двух сторон по торцевым стенам строения и присоединяют к заземлителям. При длине строения менее 10 м токоотвод и заземлитель могут быть выполнены только с одной стороны;

в) при наличии возвышающейся над всеми элементами кровли дымовой трубы над ней следует установить стержневой молниеприемник высотой не менее 0,2 м, проложить по кровле и стене строения токоотвод и присоединить его к заземлителю;

г) при наличии металлической кровли ее следует хотя бы в одной точке присоединить к заземлителю; при этом токоотводами могут служить наружные металлические лестницы, водостоки и т.д. К кровле должны быть присоединены все выступающие на ней металлические предметы.

Во всех случаях следует применять молниеприемники и токоотводы минимальным диаметром 6 мм, а в качестве заземлителя — один вертикальный или горизонтальный электрод длиной 2—3 м минимальным диаметром 10 мм, уложенный на глубине не менее 0,5 м.

Соединения элементов молниеотводов допускаются сварные и болтовые.

Защита от прямых ударов молнии *неметаллических труб*, башен, вышек высотой более 15 м должна быть выполнена путем установки на этих сооружениях при их высоте:

до 50 м — одного стержневого молниеприемника высотой не менее 1 м;

от 50 до 150 м — двух стержневых молниеприемников высотой не менее 1 м, соединенных на верхнем торце трубы;

более 150 м — не менее трех стержневых молниеприемников высотой 0,2 — 0,5 м или по верхнему торцу трубы должно быть уложено стальное кольцо сечением не менее 160 мм².

В качестве молниеприемника может также использоваться защитный колпак, устанавливаемый на дымовой трубе, или металлические конструкции типа антенн, устанавливаемые на телебашнях.

При высоте сооружения до 50 м от молниеприемников должна быть предусмотрена прокладка одного токоотвода; при высоте сооружения более 50 м токоотводы должны быть проложены не реже чем через 25 м по периметру основания сооружения, их минимальное количество два.

Сечения (диаметры) токоотводов должны удовлетворять требованиям табл. 3, а в зонах с высокой загазованностью или агрессивными выбросами в атмосферу диаметры токоотводов должны быть не менее 12 мм.

В качестве токоотводов могут использоваться ходовые металлические лестницы, в том числе с болтовыми соединениями звеньев, и прочие вертикальные металлические конструкции.

На железобетонных трубах в качестве токоотводов следует использовать арматурные стержни, соединенные по высоте трубы сваркой, скруткой или внахлест; при этом прокладка наружных токоотводов не требуется. Соединение молниеприемника с арматурой должно выполняться минимум в двух точках.

Все соединения молниеприемников с токоотводами должны быть выполнены сваркой.

Для металлических труб, башен, вышек установка молниеприемников и прокладка токоотводов не требуется.

В качестве *заземлителей* защиты от прямых ударов молнии металлических и неметаллических труб, башен, вышек следует использовать их железобетонные фундаменты. При невозможности использования фундаментов на каждый токоотвод должен быть предусмотрен *искусственный заземлитель из двух стержней, соединенных горизонтальным электродом*; при периметре основания сооружения *не более 25 м* искусственный заземлитель может быть выполнен в виде *горизонтального контура*, проложенного на глубине не менее 0,5 м и выполненного из электрода круглого сечения. При использовании в качестве токоотводов арматурных стержней сооружения их соединения с искусственными заземлителями должны выполняться не реже чем через 25 м при минимальном количестве присоединений, равном двум.

Практическое занятие 10

Расчет молниезащиты

Цель работы

1. Изучение методики расчета молниезащиты.
2. Выполнение экспертизы молниезащиты.

Вопросы для подготовки к занятию

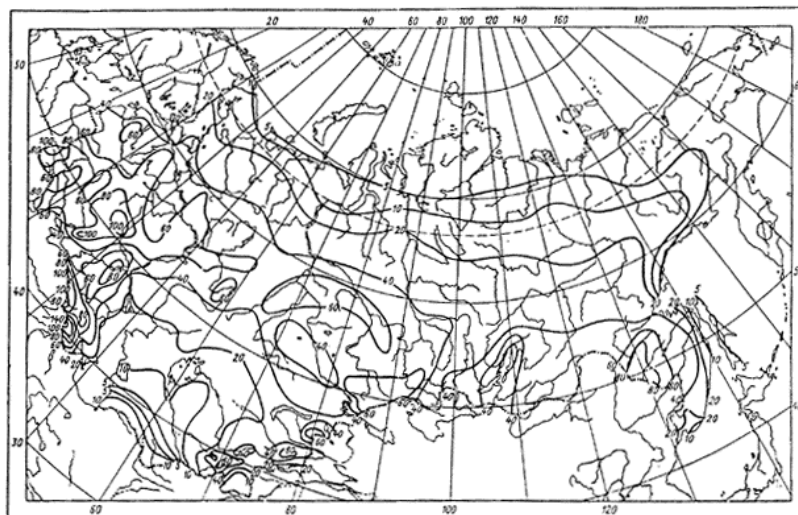
- Что называется молниезащитой?
- Основные элементы молниезащиты?
- В каких случаях может использоваться молниеприемная сетка?
- На сколько категорий по молниезащите подразделяются защищаемые объекты?
- По какому признаку подразделяются молниеотводы?
- Как выполняется защита от вторичных воздействий молнии?

Список рекомендуемой литературы

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87. / Минэнерго СССР. –М.: Энергоатомиздат, 1989.-56с.
2. Пожарная безопасность электроустановок: учебное пособие / С.С.Тимофеева, В.В.Малов, Ю.Э.Голодков – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 88 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго СССР.- 6-е изд., перераб.и доп.- Красноярск: Энергоатомиздат, 1998.-648 с.

1. Методика расчета молниезащиты

1. Определить класс зоны объекта согласно ПУЭ [3].
2. Определить среднегодовую продолжительность гроз в месте расположения объекта согласно рис.3 [1] или карты среднегодовой продолжительности гроз на территории бывшего СССР, приведенной в ПУЭ-86 [3].



3. В зависимости от величины среднегодовой продолжительности гроз определить удельную плотность ударов молнии в землю n , $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$, согласно приложения 2 [1].

Среднегодовая продолжительность гроз, ч	Удельная плотность ударов молнии в землю n , $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$
10 — 20	1
20 — 40	2
40 — 60	4
60 — 80	5,5
80 — 100	7
100 и более	8,5

4. Определить ожидаемое количество N поражений молнией здания в год по формулам (приложение 2 [1]):

для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

$$N = 9\pi h^2 n \cdot 10^{-6};$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h_x^2] \cdot n \cdot 10^{-6},$$

где h_x – наибольшая высота здания или сооружения, м; S , L – соответственно ширина и длина здания или сооружения, м; n – удельная плотность ударов молнии в землю n , $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$, в месте нахождения здания или сооружения.

Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве S и L рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание или сооружение в плане.

5. Определить категорию молниезащиты и тип зоны защиты молниеотвода согласно таблицы 1 [1].

6. Определить необходимый комплекс молниезащиты здания или сооружения согласно п. 1.2 [1].

7. Выбрать тип и место установки молниеотвода согласно п.2.11, п.2.3 [1].

8. Определить высоту молниеотвода и размеры зоны защиты молниеотвода согласно формул, приведенных в приложении 3 [1].

9. Определить конструктивные элементы молниезащиты согласно п.3.1-п.3.8 [1].

10. Проверить соответствие параметров молниезащиты существующего молниеотвода нормативным требованиям.

Пример расчета молниезащиты

Склад хранения баллонов с ацетиленом расположен в г.Бийске. Размеры здания: длина $L = 20$ м, ширина $S = 8$ м, высота $h_x = 6$ м. Здание защищено от прямых попаданий молнии отдельно стоящим стержневым молниеотводом высотой $h = 16$ м, расположенным на расстоянии $a = 4$ м от середины фасадной стороны здания.

Опора – железобетонная; молниеприемник – сталь круглая оцинкованная $d = 10$ мм, $l = 600$ мм; токоотвод - сталь круглая $d = 6$ мм, проложен снаружи по опоре; заземлитель – комбинированный из трех уголков $40 \times 40 \times 4$ мм и полосы 40×4 мм с размерами $c = 5$ м, $l = 3$ м.

Проверить соответствие параметров молниезащиты существующего молниеотвода нормативным требованиям.

Решение

1. Определяем класс зоны объекта – В-Ia (п. 7.3.41 [3]).

2. Определяем среднегодовую продолжительность гроз в г. Бийске (рис.3 [1]) – 60 – 80 час.

3. В зависимости от величины среднегодовой продолжительности гроз определяем удельную плотность ударов молнии в землю (приложение 2 [1]), $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$

$$n = 5,5.$$

4. Определяем ожидаемое количество поражений молнией здания в год по формуле

$$N = [(S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h_x^2] \cdot n \cdot 10^{-6} =$$

$$= [(8 + 6 \cdot 6) \cdot (20 + 6 \cdot 6) - 7,7 \cdot 6^2] \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 0,015$$

5. Определяем категорию молниезащиты – II, тип зоны защиты молниеотвода – зона Б (табл.1 [1]).

6. Определяем необходимый комплекс молниезащиты: защита от прямых ударов молнии, вторичных ее проявлений и заноса высокого потенциала через наземные и подземные металлические коммуникации (п.1.2 [1]).

7. Защита здания от прямых попаданий молнии осуществляется отдельно стоящим стержневым молниеотводом, расположенным на расстоянии 4 м от середины фасадной стороны здания, что соответствует п.2.11 и п.2.14 [1].

8. Определяем необходимую высоту молниеотвода и размеры его зоны защиты согласно формул, приведенных в приложении 3 [1].

Радиус зоны защиты на высоте $h_x = 6$ м, равной высоте здания, определяем по теореме Пифагора (рис. 3)

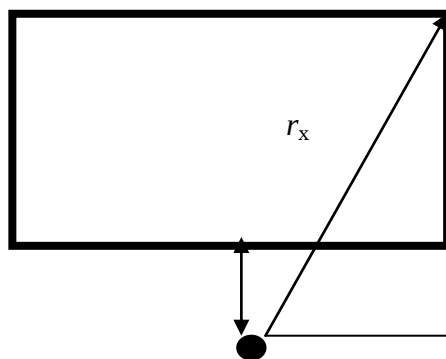


Рис. 1

$$r_x = \sqrt{(8 + 4)^2 + (20/2)^2} = \sqrt{12^2 + 10^2} = 15,6 \text{ м}$$

Высота молниеотвода, м

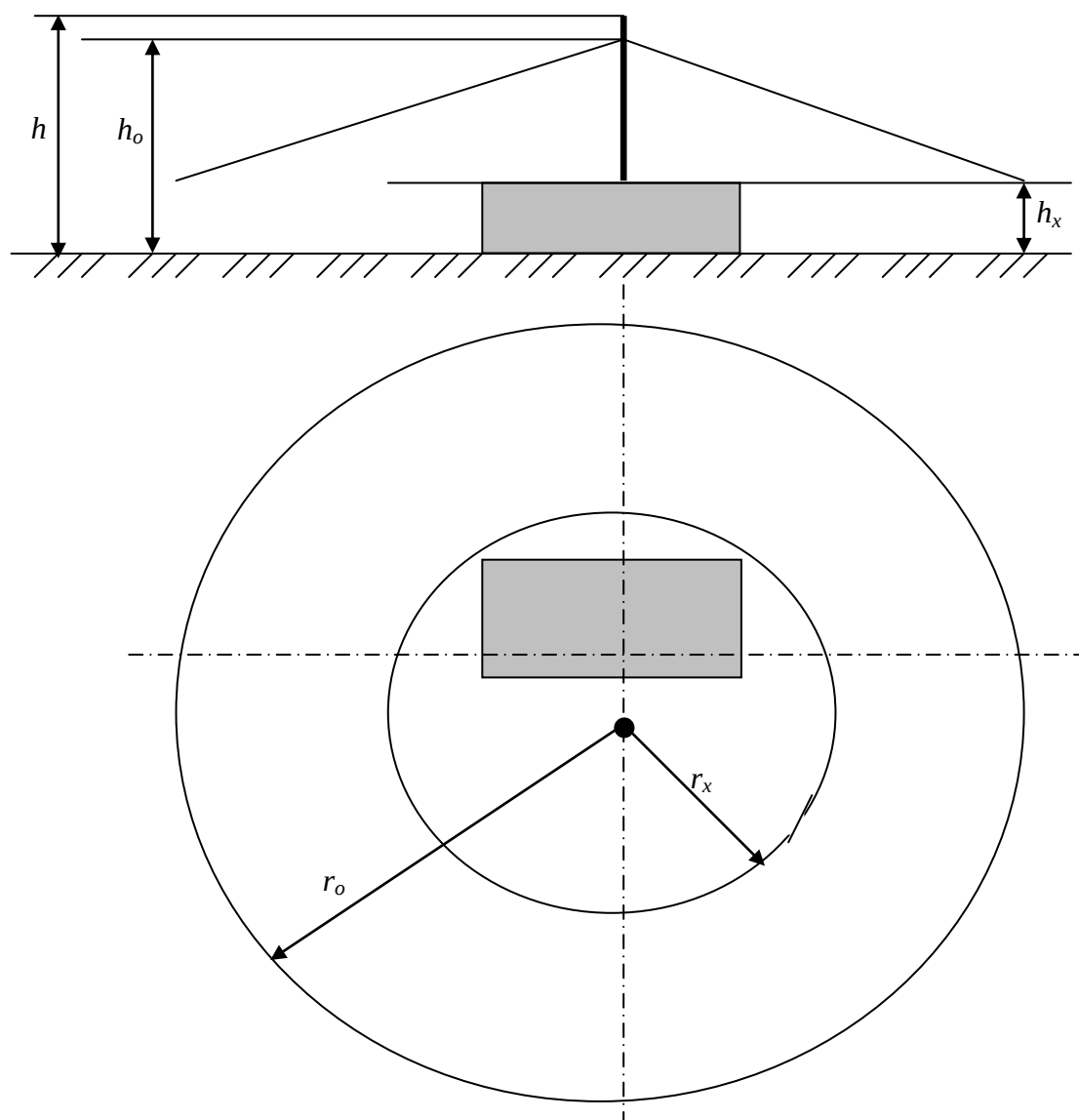
$$h = \frac{r_x + 1,63 \cdot h_x}{1,5} = \frac{15,6 + 1,63 \cdot 6}{1,5} = 16,9$$

Высота зоны защиты, м

$$h_o = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 16,9 = 15,5$$

Радиус зоны защиты на уровне земли, м

$$r_o = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 16,9 = 25,4 .$$



9. Определяем конструктивные элементы молниезащиты:

а) опора – стальная, железобетонная, деревянная (п.3.1, п.3.2 [1]);

б) молниеприемник – сталь с площадью сечения не менее 100 мм^2 , длиной не менее 200 мм, (п.3.3 [1]), если сталь круглая, то диаметр должен быть не менее 12 мм (площадь сечения 113 мм^2);

в) токоотвод - сталь диаметром $d \geq 6 \text{ мм}$ или полоса сечением $S \geq 48 \text{ мм}^2$ и толщиной $h \geq 4 \text{ мм}$ (п.3.5 [1]);

г) заземлитель – комбинированный из трех вертикальных электродов длиной $l \geq 3 \text{ м}$, $d = 10 - 20 \text{ мм}$ и полосы $40 \times 4 \text{ мм}$ (п.2.13, 2.2г, табл.2 [1]).

Проверяем соответствие параметров молниезащиты существующего молниеотвода нормативным требованиям.

Не соответствуют:

– высота молниеотвода;

– диаметр молниеприемника.

Остальные параметры молниезащиты соответствуют требованиям.

2. Выполнение экспертизы молниезащиты

Исходные данные для экспертизы приведены в Приложении В (таблица В.1, рисунок 1-4).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ЭКСПЕРТИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Таблица А.1

Данные питающего трансформатора. Напряжение в сети 10/0,4 кВ

Номер варианта	Участок I					
	Трансформатор			Магистраль от ТП до ЩС		
	Мощность S_T , кВА	$\cos \varphi$	K_3	марка кабеля	сечение жил, мм ²	длина, м
1	400	0,7	0,8	СБ	3×70+1×35	85
2	1600	0,9	0,7	СБ	3×95+1×50	55
3	630	0,7	0,8	АСБ	3×120+1×50	150
4	1000	0,9	0,7	ААБ	3×185+1×95	50
5	400	0,8	0,7	АСБ	3×70+1×35	130
6	180	0,8	0,9	СБ	3×50+1×25	90
7	400	0,9	0,8	СБ	3×120+1×50	75
8	630	0,6	1,0	ААБ	3×185+1×95	200
9	250	0,8	0,8	ВРБ	3×70+1×35	50

Примечание: кабель проложен в земле.

Маркировка кабелей

СБ – с медными жилами, с бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный, с наружным покровом;

АСБ – с алюминиевыми жилами, с бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный, с наружным покровом;

ААБ – с алюминиевыми жилами, с бумажной изоляцией, в алюминиевой оболочке, бронированный, с наружным покровом;

ВРБ – с медными жилами, с резиновой изоляцией, в ПВХ оболочке, бронированный, с наружным покровом;

Число жил и их сечение

Например: 3×70+1×35 (3 фазных жилы сечением 70 мм², 1 нулевая жила сечением 35 мм²)

Таблица А.2

Расчетные данные силовой сети (участок II). Напряжение в сети 380/220 В

Номер варианта	Автомат		Групповая сеть				Электродвигатель			
	Тип	$I_{н.расц}, A$	марка провода (кабеля)	сечение жил, $мм^2$	длина, м	способ прокладки	$P_n, кВт$	$\cos \varphi$	η	K_n
1	АЕ-2020	16	ПРТО	4×1,5	25	г.т.	4,5	0,9	0,81	7,0
2	АП50-3МТ	50	ПРТО	4×10	50	г.т.	22,0	0,93	0,89	7,0
3	АЕ-2030	25	ВВГ	4×2,5	25	ск	8,0	0,84	0,88	6,0
4	АЕ-2040	40	ВВГ	4×2,5	40	ск	17,0	0,91	0,87	7,5
5	АП50-3МТ	16	ВРГ	4×1,5	35	ск	7,0	0,9	0,85	7,5
6	АЕ-2030	20	ВВГ	4×2,5	35	ск	10,0	0,91	0,89	6,5
7	АЕ-2050	63	ПРТО	4×10	30	г.т.	30,0	0,92	0,88	5,5
8	АП50-3МТ	40	ПРТО	4×4	50	г.т.	20,0	0,92	0,87	5,0
9	АЕ-2030	25	ПРТО	4×2,5	30	г.т.	12,0	0,89	0,85	5,5
10	АП50-3МТ	16	ПРТО	4×4	45	г.т.	15,0	0,8	0,89	6,0

Примечание: способ прокладки ск – открыто на скобах; г.т. – в полу в водогазопроводной трубе

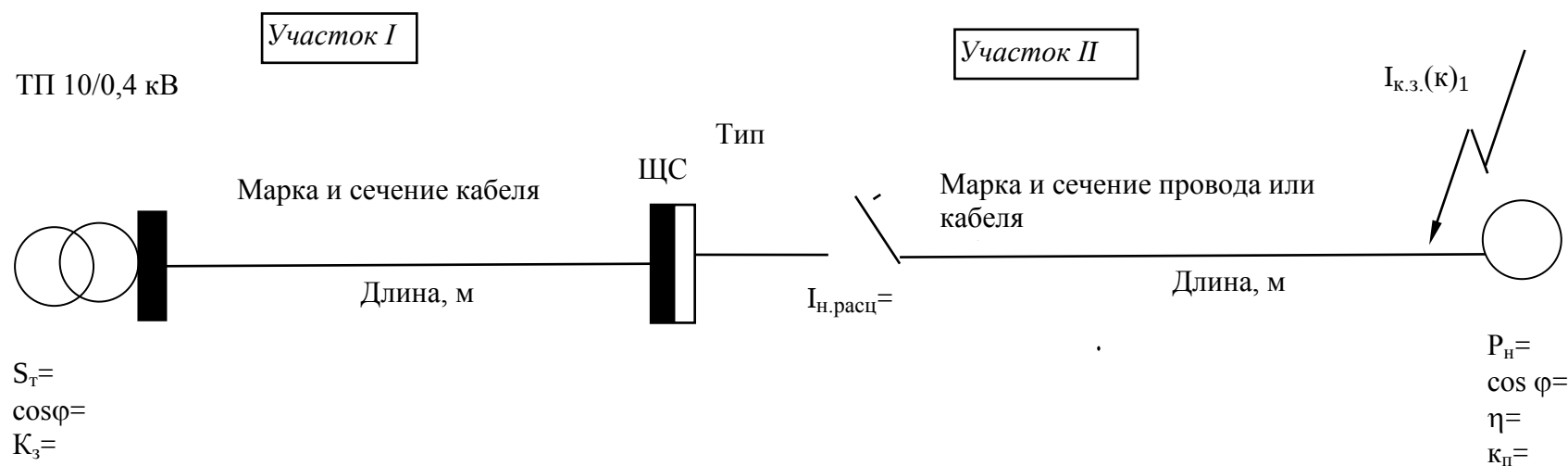


Рис.1 Расчетная схема силовой сети

Таблица А.3

Расчетные данные осветительной сети (участок IV)

№ п/п	Потребляемая мощность на щите ЩО, Р _п , кВт	Автомат		Групповая сеть						Светильники	
		тип	I _{н.расч} , А	марка провода (кабеля)	сечение, мм ²	способ прокладки	l, м	L, м	h, м	тип светильника	число n, шт.
1	6,0	АЕ-2020	16	ПВ	2(1×1,5)	г.т.	22	5	4	Н4А-ДРЛ-250	10
2	10	А3161	15	ВБВ	1(2×1,5)	ск	10	6	5	ВЗГ-200	20
3	24	АЕ-2030	20	АПВ	2(1×2,5)	г.т.	17	4	6	Н4Т2Н-300	24
4	18	АЕ-2030	25	НРГ	1(4×1,5)	ск	16	4	6	В4А-200	28
5	8	А3161	25	АПРТО	2(1×2,5)	г.т.	15	6	8	ВЗГ-200	12
6	11	А3161	15	АНРГ	1(2×2,5)	ск	12	4	8	Н4Б-300	15
7	5	АЕ-2020	16	ПРТО	2(1×2,5)	ск	19	4	4	НЗБН-300-2	6
8	17	А3161	20	ПРТО	2(1×2,5)	г.т.	10	3	8	Н4Б-300	22
9	12	АЕ-2030	25	ПВ	2(1×1,5)	г.т.	20	4	6	Н4Б-300	12
10	8	А3161	15	ВРГ	1(2×1,5)	ск	18	4	5	В4А-100	16

Примечания: *l* – расстояние от ЩО до первого светильника; *L* – расстояние между светильниками; *h* – высота подвеса светильника

Таблица А.4

Магистраль от ЩС до ЩО (участок III). Напряжение 380/220 В

№ п/п	Марка кабеля	Сечение, мм ²	Способ прокладки	Длина, м
1	АНРГ	4x10	ск	20
2	АНРГ	4x10	ск	15
3	АНРГ	4x10	ск	22
4	ВВГ	4x10	ск	20
5	АНРГ	4x10	ск	18
6	АВВГ	4x10	ск	25
7	АНРГ	4x10	ск	15
8	АНРГ	4x10	ск	25
9	АНРГ	4x10	ск	14
10	АНРГ	4x10	ск	35

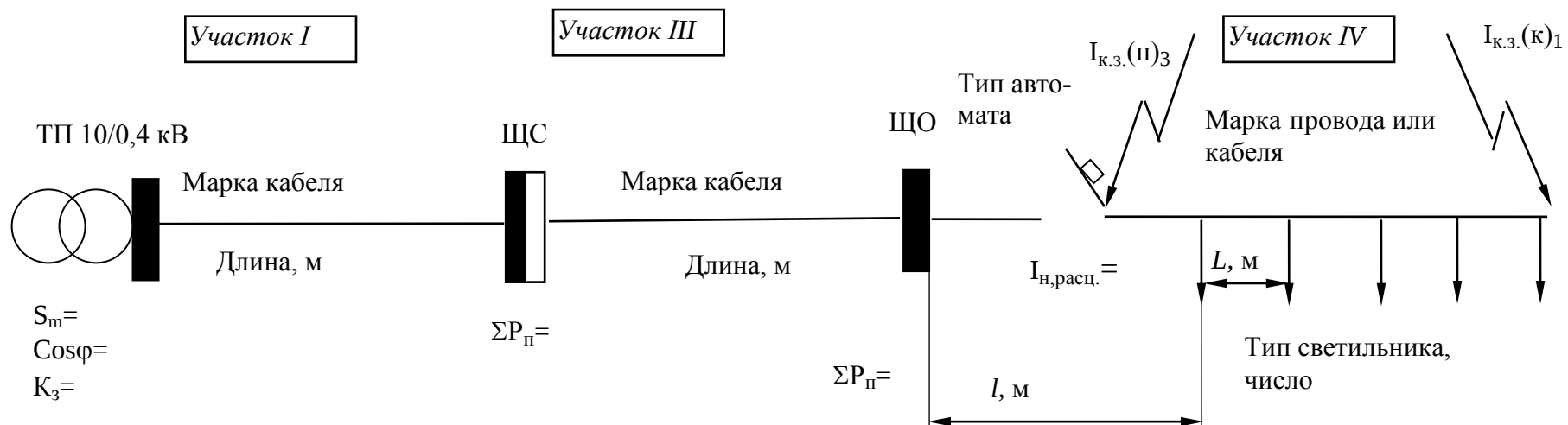


Рис.2. Расчетная схема осветительной сети

ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Таблица А.5

Технические данные плавких предохранителей ПР-2

Номинальный ток предохранителя, А	Номинальный ток плавких вставок, А	Предельный ток отключения, А
15	6, 10, 15	4500
60	15, 20, 25, 35, 45, 60	8000
100	60, 80, 100	11000
200	100, 125, 160, 200	11000
350	220, 225, 260, 300, 350	13000

Таблица А.6

Технические данные плавких предохранителей ПН и НПН

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя, А	Номинальный ток плавких вставок, А	Предельный ток отключения, А
НПН-15	15	6, 10, 15	10000
НПН-60	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	10000
ПН-2	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	28000
	250	80, 100, 120, 150, 200, 250	28000
	400	200, 250, 300, 400	28000

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Таблица А.7

Технические данные автоматических выключателей с комбинированным расцепителем АП50 -ЗМТ

Номинальный ток расцепителя, А	Ток срабатывания электро- магнитного расцепителя, А	Предельный ток отключения, А
1,6	11	300
2,5	17,5	400
4	28	600
6,4	45	800
10	70	1500
16	110	1500
25	175	2000
40	280	2000
16	110	1500

Технические данные выключателей серии А3100

Тип	Обозначение	Номинальный ток автомата, А	Число полюсов	Тип расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А	Ток отсечки, А
А3160	А3161	50	1	тепловой	15, 20,	-
	А3162		2		25, 30,	-
	А3163		3		40, 50	-
А3110	А3113/1 А3114/1	100	2 3	комбинированный	15	150
					20	200
					25	250
					30	300
					40	400
					50	500
					60	600
					80	800
					100	1000
	А3113/5 А3114/5	100	2 3	электромагнитный	15	150
					20	200
					25	250
					30	300
					40	400
					50	500
					60	600
					80	800
					100	1000
А3120	А3123 А3124	100	2 3	комбинированный	15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100	430 600 800
				электромагнитный	100	430 600 800
				комбинированный	120	840
					150	1050
А3130	А3133 А3134	200	2 3	комбинированный	200	1400
				электромагнитный	200	840 1050 1400
				комбинированный	250	1750
					300	2100
А3140	А3143 А3144	600	2	комбинированный	400	2800
					500	3500
					600	4200

Таблица А.9

Коммутационная способность автоматических выключателей серии А3100

Тип автомата	Номинальный ток расцепителя, А	Предельный ток отключения, А при напряжении, В	
		220	380
А3161	15	2500	-
	20	3000	-
	25	3500	-
	30	4000	-
	40	4500	-
	50	5000	-
А3163	15	-	2000
	20	-	2500
	25	-	3000
	30	-	3500
	40	-	4000
	50	-	4500
А3110	15	4000	3200
	20	5000	4000
	25	6500	5000
	30	9000	7000
	40	10000	8500
	50	12000	10000
	60	13000	11000
	80	14000	11500
	100	15000	12000
	120	20000	14000
	150	30000	18000
	200	35000	25000
А3120	15	7000	4000
	20	7500	5000
	25	11000	7000
	30	12000	8000
	40	15000	10000
	50	22000	14000
	60	23000	15000
	80	26000	16000
	100	30000	18000
А3140	250	35000	32000
	300, 400	40000	35000
	500, 600	50000	40000

Таблица А.10

Технические данные автоматических выключателей АЕ20 и АЕ20М

Тип выключателя	Номин. ток выключателя I_n , А	Номинальные токи расцепителей $I_{н.расц}$	Число полюсов при U , В		Тип расцепителя
			220	380	
АЕ2023	16	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16	-	3	эл.магн.
АЕ2026			-	3	комбинир.
АЕ2043	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	-	3	эл.магн.
АЕ2044			1	-	комбинир.
АЕ2046			-	3	комбинир.
АЕ2043М		0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	-	3	эл.магн.
АЕ2046М			-	3	комбинир.
АЕ2053М	100	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	-	3	эл.магн.
АЕ2056М			-	3	комбинир.
АЕ2063М	160	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	-	3	эл.магн.
АЕ2066М			-	3	комбинир.

Степень защиты автоматических выключателей АЕ2020 и АЕ2040 – IP00 и IP20.

Степень защиты автоматических выключателей АЕ2040М, АЕ2050М и АЕ2060 – IP00, IP20 и IP54

Уставка по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания (ток отсечки) – $12 \cdot I_{н.расц}$.

Таблица А.11

Коммутационная способность автоматических выключателей АЕ20 и АЕ20М

Тип выключателя	Степень защиты выключателя	Номинальные токи расцепителей $I_{н.расц}$	Предельный ток отключения, А при переменном токе и напряжении, В	
			220	380
АЕ2020	IP00 IP20	0,3 – 1,6	-	700
		2 - 6	-	1000
		8 - 16	-	2000
АЕ2040	IP00 IP20	10 - 12,5	2000	2000
		16 - 25	3000	3000
		31,5 - 63	6000	6000

Продолжение таблицы А.11

AE2040M	IP00	0,6 – 1,6	-	5000
	IP20	2 - 12,5	-	1500
	IP54	0,6 – 4	-	800
		5 – 12,5	-	1500
	IP00	16 - 63	-	4500
	IP20		-	
	IP54		-	2400
AE2050M	IP00	10 – 12,5	-	2400
	IP20	16 - 25	-	3500
	IP54			
	IP00	31,5 - 100	-	6000
	IP20		-	
	IP54		-	5000
AE2060M	IP00 IP20	16 - 25	-	3500
		31,5 - 40	-	6000
		50 - 100	-	9000
		125 - 160	-	11500
	IP54	16 - 25	-	3500
		31,5 - 160	-	7000

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

Таблица А.12

Технические данные электромагнитных пускателей серии ПМЛ

Величина пускателя	Маркировка пускателя	Номинальный ток пускателя I_n , А	Номинальные токи тепловых элементов реле $I_{н.р}$, А	Максимальная мощность электродвигателя, кВт
1	ПМЛ1220	10	0,14; 0,21; 0,32; 0,52; 0,8; 1,27; 2,05; 3,4; 4,9; 6,75; 8,5	л 4
2	ПМЛ2220	25	6,75; 8,5; 11,75; 16; 21,5	11
3	ПМЛ3220	40	16; 21,5; 27,5; 35,5	18,5
4	ПМЛ4220	63	27,5; 35,5; 45; 55,5	30

Приведены данные нереверсивных пускателей с тепловыми реле РТЛ, с кнопками «Пуск-Стоп», напряжение втягивающей катушки 380 В переменного тока, степень защиты IP54.

Диапазон регулирования тока несрабатывания тепловых реле пускателей $(0,75 - 1,25) \cdot I_n$ тепловых элементов.

Таблица А.13

Технические данные электромагнитных пускателей серии ПМА

Величина пускателя	Маркировка пускателя	Номинальный ток пускателя I_n , А	Тип теплового реле	Номинальные токи тепловых элементов реле $I_{н.р}$, А	Максимальная мощность электродвигателя, кВт
3	ПМА3240	40	ТРН-40М	5; 8; 12,5; 20; 32	18,5
3	ПМА3240	40	РТТ-141	4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	18,5
3	ПМА3240	40	РТТ-211	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40	18,5
4	ПМА4240	63	РТТ-2П	32; 40; 50; 63	30
4	ПМА4240Д	80	РТТ-2П	40; 50; 63; 80	37
5	ПМА5240	100	РТТ-3П	50; 63; 80; 100	45
6	ПМА6240	160	РТТ-3П	80; 100; 125; 160	75

Приведены данные нереверсивных пускателей с встроенными тепловыми реле, с кнопками «Пуск-Стоп», напряжение втягивающей катушки 380 В переменного тока, степень защиты IP54.

Диапазон регулирования тока несрабатывания тепловых реле пускателей $(0,85 - 1,15) \cdot I_n$ тепловых элементов.

Таблица А.14

Технические данные электромагнитных пускателей серии ПМЕ

Величина пускателя	Маркировка пускателя	Номинальный ток пускателя I_n , А	Тип теплового реле	Номинальные токи тепловых элементов реле $I_{н.р}$, А	Максимальная мощность электродвигателя, кВт
1	ПМЕ112	10	ТРН-10Т	0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10	4
2	ПМЕ212	25	ТРН-25Т	5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	10

Диапазон регулирования тока несрабатывания тепловых реле пускателей $(0,85 - 1,15) \cdot I_n$ тепловых элементов.

Таблица А.15

Технические данные электромагнитных пускателей серии ПА

Величина пускателя	Маркировка пускателя	Номинальный ток пускателя I_n , А	Тип теплового реле	Номинальные токи тепловых элементов реле $I_{н.р}$, А	Максимальная мощность электродвигателя, кВт
3	ПА312	40	ТРН-32	16; 20; 25; 32; 40	17
4	ПА412	60	ТРП-60	25; 30; 50; 60; 80	28
5	ПА512	150	ТРП-150	50; 60; 80; 100	55

Диапазон регулирования тока несрабатывания тепловых реле пускателей $(0,75 - 1,3) \cdot I_n$ тепловых элементов для ТРН-32 и $(0,75 - 1,25) \cdot I_n$ для ТРП-60 и ТРП-150.

Таблица А.16

Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А для проводов проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырех одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	123	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250

Таблица А.17

Допустимый длительный ток для проводов с алюминиевыми жилами с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А для проводов проложенных					
		в одной трубе				
		двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырёх одно- жильных	одного двух- жильного	одного трехжи льного
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	28	23	25	21
6	39	36	32	30	31	26
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	215	165	140	150	135
95	255	245	200	175	190	165
120	295	275	220	200	230	190

Таблица А.18

Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке, бронированных небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток*, для кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385

*Токи относятся к кабелям как с нулевой жилой, так и без нее.

Таблица А.19

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток*, для кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295

Таблица А.20

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одно-жильных до 1 кВ	двух-жильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырех-жильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	60	55	-	-	-
10	110	80	75	60	-	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270
150	520	385	335	300	275	305
185	580	-	380	340	310	345
240	675	-	440	390	355	-

Таблица А.21

Расчетное полное сопротивление трансформатора току короткого замыкания на корпус (землю)

Мощность трансформатора, кВ·А	Первичное напряжение, кВ	$Z_{T(1)}$, Ом
25	6 и 10	3,110
40	6 и 10	1,949
63	6 и 10	1,237
	20	1,136
100	6 и 10	0,779
	20 и 35	0,764
160	6 и 10	0,487
	20 и 35	0,478
250	6 и 10	0,312
	20 и 35	0,305
400	6 и 10	0,195
	20 и 35	0,191
630	6 и 10	0,129
	20 и 35	0,121

Таблица А.22

Значение коэффициента для определения (по упрощенной формуле) сечений проводников и потери напряжения в электропроводах

Напряжение приемника, В	Система сети и род тока	Коэффициент C для проводов	
		медных	алюминиевых
500	Трехфазная	132	80
660	Трехфазная	231	138
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12,8	7,7
220/127	Трехфазная с нулевым проводом	25,6	15,6
220/127	Двухфазная с нулевым проводом	11,4	6,9
127	Двухпроводная переменного или постоянного тока	4,3	2,6
110	Двухпроводная переменного или постоянного тока	3,2	1,4

Допустимая потеря напряжения в осветительных и силовых сетях

Мощность трансформатора, кВА	Коэффициент загрузки трансформатора	Коэффициент мощности суммарной нагрузки				
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
		Допустимая потеря напряжения, %				
160-250	1,0	5,7/8,2	4,1/6,6	3,6/6,1	3,4/5,9	3,1/5,6
	0,9	5,9/8,4	4,4/6,9	4,0/6,5	3,8/6,3	3,5/6,0
	0,8	6,1/8,6	4,7/7,2	4,4/6,9	4,2/6,7	3,9/6,4
	0,7	6,3/8,8	5,0/7,5	4,8/7,3	4,6/7,1	4,3/6,8
400	1,0	6,1/8,6	4,3/6,8	3,8/6,3	3,5/6,0	3,2/5,7
	0,9	6,2/8,7	4,6/7,1	4,2/6,7	3,9/6,4	3,6/6,1
	0,8	6,3/8,8	4,9/7,4	4,6/7,1	4,3/6,8	4,0/6,5
	0,7	6,4/8,9	5,2/7,7	5,0/7,4	4,7/7,2	4,4/6,9
630-1000	1,0	6,2/8,7	4,0/6,5	3,3/5,8	3,0/5,5	2,5/5,0
	0,9	6,3/8,8	4,3/6,8	3,7/6,2	3,4/5,9	3,0/5,5
	0,8	6,4/8,9	4,6/7,1	4,1/6,6	3,8/6,3	3,5/6,0
	0,7	6,5/9,0	4,9/7,4	4,5/7,0	4,2/6,7	4,0/6,5
1600	1,0	6,4/8,9	4,2/6,7	3,4/5,9	3,0/5,5	2,6/5,1
	0,9	6,5/9,0	4,5/7,0	3,8/6,3	3,4/5,9	3,1/5,6
	0,8	6,6/9,1	4,8/7,3	4,2/6,7	3,8/6,3	3,6/6,1
	0,7	6,7/9,2	5,1/7,6	4,6/7,1	4,2/6,7	4,1/6,6

В числителе указаны допустимые потери напряжения при отклонении напряжения у наиболее удаленных ламп на 2,5 % ниже номинального, в знаменателе – на 5 % (а также у силовых сетей).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

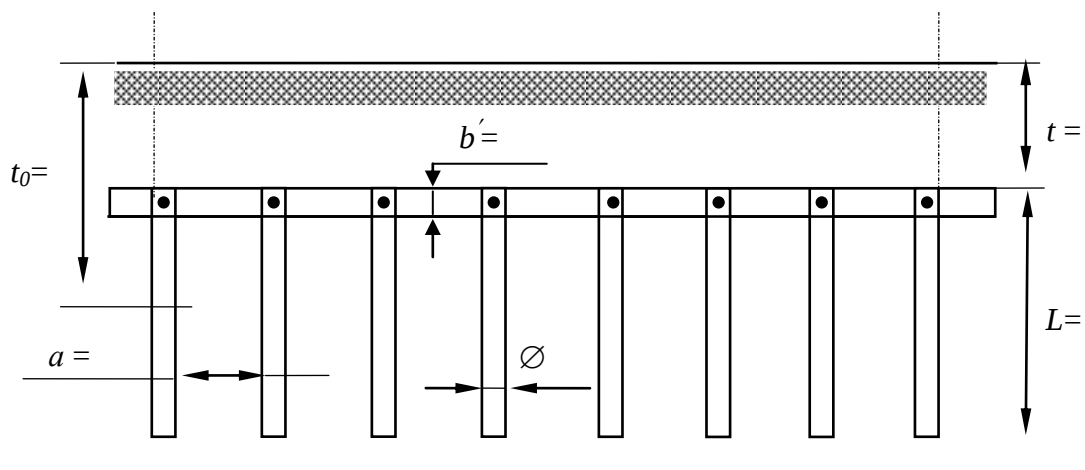
Таблица Б.1

Расчетные данные заземляющего устройства

№ п/п	Характеристика грунта		Вертикальный заземлитель					Горизонтальный заземлитель			Конструк- ция заземляю- щего устройства
	$\rho_{\text{изм.}},$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$	состо- яние грун- та	кол-во зазем- лителей n , шт.	длина элект- родов L , мм	диаметр элект- родов d , мм	ширина полки угол- кового элект- рода b , мм	расстояние между электродами a , мм	ширина соединител ь-ной полосы b' , мм	глубина заложения t , мм	расстояние до внутрен- него кон- тура m , м	
1	3×10^2	С	18	2500	-	35	3000	45	600	3000	К
2	1×10^3	В	14	3000	35	-	4000	40	750	1700	Р
3	5×10^2	СВ	12	2500	-	40	5000	50	800	2400	К
4	8×10^2	СВ	5	3500	40	-	3500	55	600	1000	Р
5	7×10^2	В	3	3000	-	35	6000	40	800	1500	Р
6	6×10^2	С	8	2500	35	-	5000	50	850	2500	К
7	5×10^2	СВ	6	3000	-	40	6000	40	700	2000	К
8	2×10^2	В	8	2500	45	-	7500	50	750	1600	К
9	3×10^2	С	10	2500	-	45	5000	45	700	2000	Р
10	4×10^2	СВ	8	3500	40	-	6000	40	800	2500	К

Примечания:

1. Состояние грунта: С- сухой; В- влажный; СВ- средней влажности.
2. Конструкция заземляющего устройства: К- по замкнутому контуру; Р- в ряд.



б

Рис.1. Расчетная схема заземляющего устройства

Таблица Б.2

Значение повышающего коэффициента, учитывающего состояние грунта

Тип заземлителей	Глубина залегания, м	Повышающие коэффициенты		
		k_1	k_2	k_3
Поверхностный	0,5	6,5	5,0	4,5
То же	0,8	3,0	2,0	1,6
Углубленный (труба, уголок, стержень)	0,8	2,0	1,5	1,4

k_1 – грунт перед замером сопротивления влажный;

k_2 – грунт перед замером сопротивления средней влажности;

k_3 - грунт перед замером сопротивления сухой

Таблица Б.3

**Коэффициенты использования вертикальных заземлителей
и горизонтальных соединительных полос**

Количество вертикаль- ных зазем- лителей	Отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине					
	1		2		3	
	η_B	η_Γ	η_B	η_Γ	η_B	η_Γ
При расположении полос по периметру замкнутого контура						
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64
8	0,58	0,36	0,71	0,43	0,78	0,60
10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45
30	0,43	0,24	0,60	0,30	0,68	0,41
50	0,40	0,21	0,56	0,28	0,66	0,37
70	0,38	0,20	0,54	0,26	0,64	0,35
100	0,35	0,19	0,52	0,24	0,62	0,33
При расположении полос в ряд						
3	0,78	0,80	0,86	0,92	0,91	0,95
4	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92
5	0,70	0,74	0,81	0,86	0,87	0,90
6	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88
10	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82
15	0,54	0,50	0,70	0,64	0,78	0,74
20	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68
30	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58

Таблица Б.4

**Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников,
проложенных в земле**

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	16	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	100	4
	Угловой	-	100	4
	Трубный	32	-	3,5

Продолжение таблицы Б.4

Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	12	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	75	3
	Трубный	25	-	2
Медь	Круглый	12	-	-
	Прямоугольный	-	50	2
	Трубный	20	-	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	

-
- Диаметр каждой проволоки.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ЭКСПЕРТИЗА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Таблица В.1

Исходные данные для экспертизы молниезащиты

Номер		Средняя продолжительность гроз, ч/год	Тип молниетвода	Длина здания L , м	Ширина здания S , м	h_x , м	a , м
варианта	рисунка						
1	1	30	од.стерж.	14	10	6	3
2	2	50	од.стерж.	6	4	4	-
3	3	70	од.стерж.	17	6	5	-
4	4	90	од.трос.	20	5	7	-
5	1	50	од.стерж.	18	10	5,5	4
6	2	70	од.стерж.	7	5	5	-
7	3	90	од.стерж.	19	7	6	-
8	4	100	од.трос.	25	6	8	-
9	1	70	од.стерж.	14	6	5	5
10	2	80	од.стерж.	6	4	4	-

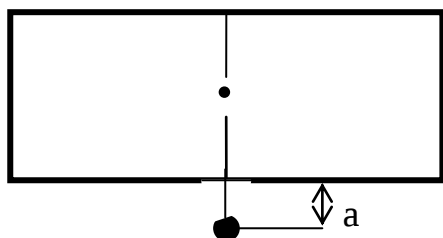


Рис.1

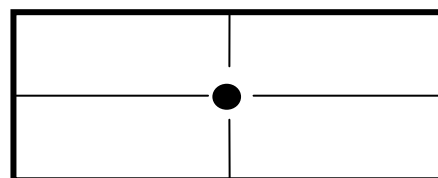


Рис.2

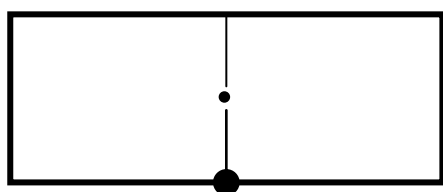


Рис.3

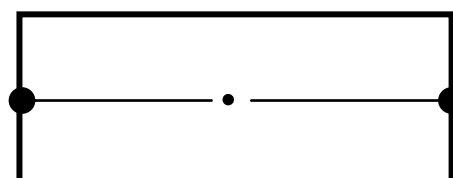


Рис.4

Учебное издание

**Тимофеева Светлана Семеновна
Малов Владислав Владимирович**

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Практикум

Редактор