

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт энергетики и природопользования

Безик В.А.

Технические средства обеспечения безопасности

Методические указания по выполнению
практических работ по дисциплине
«Технические средства обеспечения безопасности
автоматизированных производств»

Брянская область, 2021

УДК 681.5.08 (076)
ББК 32.965
Б 39

Безик, В. А. Технические средства обеспечения безопасности: методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Технические средства обеспечения безопасности автоматизированных производств» / В. А. Безик. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. – 58 с.

Методические указания содержат необходимые краткие теоретические сведения, контрольные вопросы по темам и контрольные задания. При необходимости излагаются методики проведения расчетов. Пособие предназначено для использования при проведении практических работ со студентами направления подготовки 15.03.04 Автоматизация производственных процессов и производств.

Рецензент:

д-р. техн. наук., профессор кафедры Электроэнергетики и автоматики Кисель Ю.Е., ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссии института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол № 5 от 26.02.2021.

© Брянский ГАУ, 2021
© Безик В.А., 2021

Содержание

1. Изучение и анализ нормативно-технической документации по обеспечению электробезопасности автоматизированных систем.....	4
2. Расчет защитного зануления	10
2.1 Расчет зануления - методика и формулы для расчета защитного зануления электрооборудования	10
2.2 Контрольные вопросы	16
2.3 Контрольное задание	16
3. Расчет защитного заземления	18
3.1. Основные понятия и методика расчета.....	18
3.1 Алгоритм расчета заземления	24
3.3. Пример расчета.....	29
3.4 Контрольное задание	31
3.5 Контрольные вопросы	32
4. Расчет молниезащиты	33
4.1. Характеристика грозовой деятельности и грозопоражаемости зданий и сооружений	33
4.2. Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты	34
4.3. Средства и способы защиты от молнии	35
4.4. Требования к выполнению молниезащиты зданий и сооружений	36
4.5. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода	37
4.6. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода.....	38
4.7 Контрольные вопросы	39
4.8. Контрольное задание и последовательность расчета.....	39
5. Выбор средств защиты электроустановок от аварийных режимов	43
5.1. Методика выбора аппаратов защиты	43
5.2. Пример выбора аппаратов защиты и управления.....	49
5.3 Контрольное задание	51
Литература	52
Приложения	53

1 Изучение и анализ нормативно-технической документации по обеспечению электробезопасности автоматизированных систем

Техническая документация

Наличие полной и качественной НТД в электроустановках является важной предпосылкой по организации и поддержанию надлежащего уровня электрохозяйства. Ее недооценка чревата нежелательными последствиями.

Вся система распределительных электросетей предприятий (организаций), начиная от вводных устройств и до конечного пункта потребления электроэнергии, должна быть документально оформлена, а срок ее жизнедеятельности, начиная от проекта и кончая заменой (ликвидацией, реконструкцией и т.п.), должен быть документально подтвержден.

Отличительной особенностью ЛТД в электроустановках является значительное ее количество по наименованиям и назначению, а также постоянное непрекращающееся обновление и корректировка нормативов, требований органов государственного и ведомственного надзора, изменения и дополнения в отраслевых и производственных (эксплуатационных) инструкциях, технических отчетах, проектах и расчетных схемах электроснабжения и др. Помимо общих для электротехнического персонала предприятия (организации) НТД, каждая категория работников в электроустановках имеет свои нормативы, производственные, должностные и местные (эксплуатационные) инструкции, вплоть до методических указаний органов энергонадзора и рекомендаций энергоснабжающих организаций.

На рисунке 4 приведен необходимый для каждого потребителя электроэнергии перечень технической документации в электроустановках, регламентированный действующими нормами и правилами.

Этот рисунок может быть дополнен следующими пояснениями норм и правил работы в электроустановках.

На Генеральный план (п. 1 на рисунок 1.1) должны быть нанесены здания, сооружения и подземные электротехнические коммуникации.

Технические паспорта (п. 2) должны иметься на все основное электрооборудование, а сертификаты (п. 5) - лишь на оборудование и материалы, подлежащие сертификации.

Акт разграничения по имущественной (балансовой) принадлежности и эксплуатационной ответственности (п. 3) составляется между энергоснабжающей организацией и потребителем электрической энергии. В Акте указывается граница принадлежности и ответственности между обеими сторонами. В этот Акт разграничения должны быть внесены все субпотребители электроэнергии. Акт разграничения составляется в трех экземплярах, один из которых предназначен для предприятия электросетей, от которых питается потребитель, другой - для потребителя, и третий экземпляр передается в Энергосбыт.

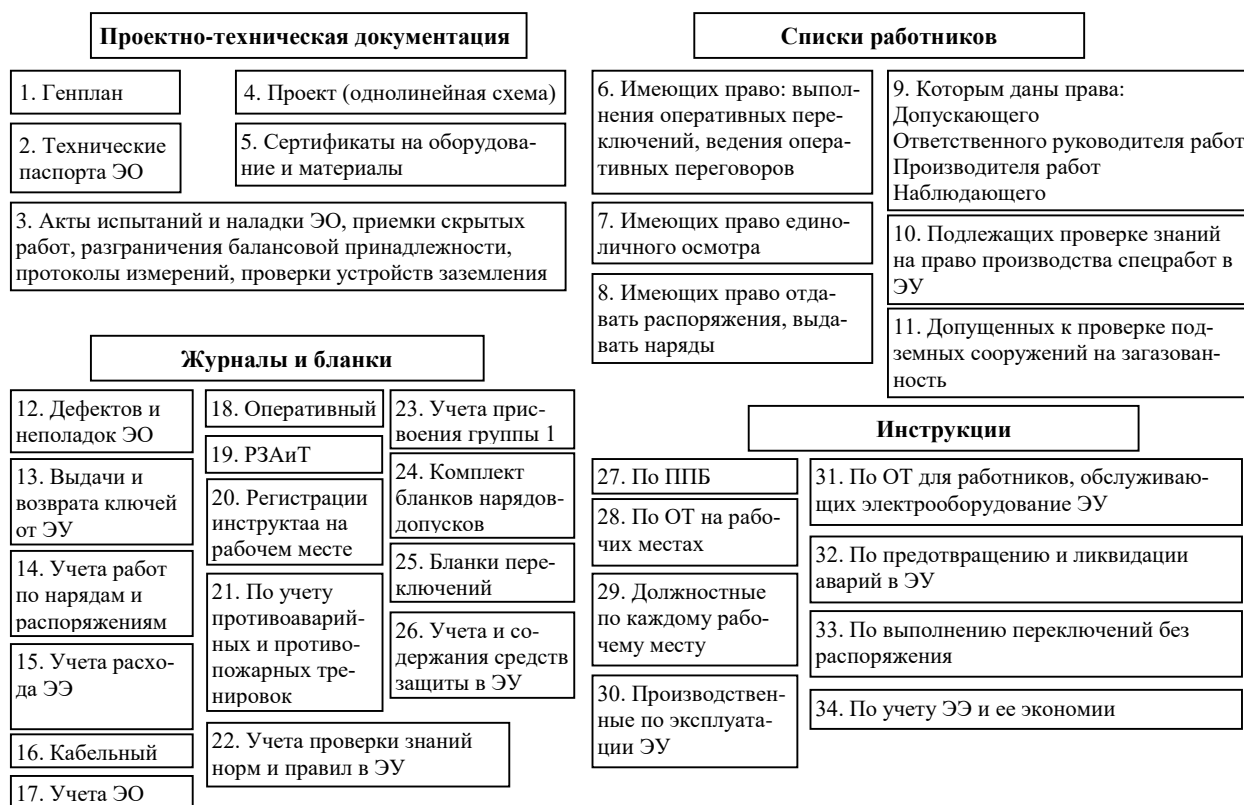


Рисунок 1.1 – Техническая документация в электроустановках

Проектно-техническая документация, указанная в п. 4, должна быть утверждена в установленном порядке и согласована с энергоснабжающей организацией и органами Госэнергонадзора.

Для потребителей, имеющих простую и наглядную схему электроснабжения, достаточно вместо проекта иметь однолинейную расчетную схему электроснабжения. На этой схеме должна быть подпись ответственного за электрохозяйство, особенно если в процессе эксплуатации электроустановки на ней внесены изменения.

Списки работников (пп. 6 - 19) входят в перечень технической документации для каждого потребителя, в том числе отдельно и для структурных подразделений, которые утверждаются техническим руководителем предприятия (организации).

Журналы (пп. 12 - 23, 26), а также указанные выше списки работников, должны иметься на рабочих местах оперативного персонала (на подстанциях, в ГУ или в помещениях, отведенных для персонала, обслуживающего РУ).

Все инструкции, указанные на схеме (пп. 27 - 34) разрабатываются с учетом видов выполняемых работ (работы по оперативным переключениям в ЭУ, верхолазные работы, работы на высоте, монтажные, наладочные и ремонтные работы, проведение испытаний и измерений и т.д.).

В инструкциях по охране труда для работников, обслуживающих электрооборудование электроустановок (п. 31), и по охране труда на рабочих ме-

стах (п. 28) должны содержаться указания по общим требованиям безопасности перед началом работы, во время работы и по ее окончании, а также в аварийных ситуациях.

Эти инструкции разрабатываются руководителями структурных подразделений для данной должности (профессии) работников и на отдельные виды работ на основе типовых инструкций. Они должны быть согласованы с ответственным за электрохозяйство и утверждены руководителем предприятия (организации).

В должностных инструкциях по каждому рабочему месту (п. 29) должны содержаться: перечень НТД и схем электроустановки, знание которых необходимо для данной должностной категории работников; конкретные права, обязанности и персональная ответственность; взаимоотношения с другими категориями работников (вышестоящим и подчиненным персоналом) и др.

Рисунок 1.1 может быть дополнен следующей технической документацией:

- перечнем необходимой технической документации, в том числе и для структурных подразделений, утвержденный техническим руководителем, который должен пересматриваться не реже 1 раза в 3 года и в который, в частности, входят такие важные документы, как: перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации; ВЛ, которые после отключения находятся под наведенным напряжением; должностей ИТР и электротехнологического персонала, которым необходимо иметь соответствующую группу по электробезопасности; профессий и рабочих мест, требующих отнесение персонала к группе I по электробезопасности; инвентарных средств защиты и др.;
- списками работников энергоснабжающих организаций и организаций - субабонентов, имеющих право вести оперативные переговоры;
- перечнем оборудования, ЛЭП и устройств РЗА, находящихся в оперативном управлении на закрепленном участке;
- перечнем сложных оперативных переключений в электроустановках.

Указанный перечень оперативной документации также может быть дополнен по решению руководителя потребителя или ответственного за электрохозяйство.

Всю оперативную документацию в установленные сроки, но не реже 1 раза в месяц, должен просматривать вышестоящий оперативный или административно-технический персонал и принимать меры к устранению обнаруженных недостатков.

Вся оперативная документация, ведомости регистрирующих контрольно-измерительных приборов, показаний расчетных приборов учета, выходные документы, формируемые автоматизированными системами управления (АСУ), относятся к документам строго учета и подлежат хранению в установленном порядке.

Порядок хранения документации устанавливается руководителем потре-

бителя. При изменении собственника предприятия (организации) вся НТД должна быть передана в полном объеме новому владельцу.

Ведомственная нормативная документация

К нормам и правилам работы в электроустановках, помимо действующих МПБЭЭ (Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок), ПТЭЭП (Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей), ППИСЗ (Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках), ПУЭ (Правила устройства электроустановок), ППБ (Правила пожарной безопасности), относятся ведомственные руководящие документы, инструкции и методические материалы (указания, рекомендации). Большинство таких материалов являются обязательными, а некоторые из них имеют рекомендательный характер.

Такое большое количество действующих Правил, на первый взгляд, кажется излишним. Однако каждое из них имеет свое целевое назначение, они отличаются по содержанию друг от друга и предназначены для выполнения конкретных требований по обеспечению рациональной и безопасной эксплуатации электроустановок на различных этапах их проектирования, монтажа, наладки, эксплуатации и ремонта.

Так, МПБЭЭ регламентируют требования к персоналу, производящему работы в электроустановках, определяют порядок и условия производства работ, рассматривают организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, испытаний и измерений в электроустановках всех уровней напряжения. Эти правила распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения.

ПТЭЭП имеют цель обеспечить надежную, безопасную и рациональную эксплуатацию электроустановок и содержание их в исправном состоянии и предназначены для руководящих работников и специалистов, занимающихся эксплуатацией, наладкой и ремонтом электроустановок и электротехнического оборудования.

ПУЭ определяют требования к устройству электроустановок и рассчитаны на инженерно-технических работников, занятых проектированием, монтажом и эксплуатацией в электроустановках.

ППИСЗ содержат перечень средств защиты, их классификацию, технические требования к ним, требования к испытаниям, эксплуатации, содержанию и уходу за ними и предназначены для инженерно-технического персонала и ра-

бочих, занятых на эксплуатации электроустановок, работников служб охраны труда предприятий (организаций), а также рекомендуются для использования в работе разработчикам средств защиты.

Такая же картина разных целей, задач и требований, но единого назначения, имеют и другие действующие Правила (ППБ, Правила учета электрической энергии и т.д.).

К другим ведомственным нормативным документам следует отнести:

Инструкцию о порядке допуска в эксплуатацию новых и реконструированных электроустановок, утвержденную заместителем министра Минтопэнерго РФ 30 июня 1999 г., которая определяет порядок допуска в эксплуатацию и подключения к сетям энергоснабжающей организации вновь вводимых и реконструированных электроустановок (энергоустановок) энергоснабжающих организаций и потребителей энергии;

Методические рекомендации по регулированию отношений между энергоснабжающими организациями и потребителями, утвержденные первым заместителем министра энергетики РФ 19 января 2002 г., устанавливающие отношения между обеими сторонами на потребительском рынке электроэнергии, не урегулированные Гражданским Кодексом РФ и регулирование которых в соответствии с ГК РФ должно осуществляться иными правовыми актами;

Информационное письмо-предписание ИП-02/98 ФГУ «Мосгосэнергонадзора» «О проведении испытаний электроустановок г. Москвы» с напоминанием руководителям (владельцам) предприятий и организаций о том, «...что они несут личную ответственность за техническое состояние электроустановок и технику безопасности при эксплуатации в соответствии с требованием ПТЭЭП п. 1.2.2 и статьями 143, 219 УК РФ».

В новых правилах ПТЭЭП (изд. 6) в п. 1.2.2 слова «Руководитель (владелец) предприятия должен обеспечить:» заменены на слова «Потребитель обязан обеспечить:», что является принципиальным отличием между обеими фразами;

совместное решение Госстандарта РФ (утв. 02.07.2001), Минэнерго РФ (утв. 01.10.2001) и РАО «ЕЭС России» (утв. 17.09.2001) о мерах по обеспечению проведения обязательной сертификации электрической энергии, в результате которого создан Координационный совет по качеству электрической энергии с участием представителей вышеуказанных ведомств. Основная цель такого решения заключается в обеспечении надлежащего качества поставляемой электроэнергии, от уровня которого во многом зависит надежность, работоспособность и безопасность электрооборудования;

Инструкцию по проведению мероприятий по контролю при осуществлении государственного энергетического надзора за оборудованием, зданиями и сооружениями электрических и тепловых установок, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей энергоснабжающих организаций и потребителей тепловой и электрической энергии, утвержденную руководителем Гос-

энергонадзора 26 ноября 2001 г. Данная Инструкция составлена на основании федерального закона от 8 августа 2001 г. № 134-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора)» и «Положения о государственном энергетическом надзоре в РФ», утвержденного постановлением Правительства РФ от 12 августа 1998 г. № 938.

Несмотря на то, что настоящая Инструкция предназначена для государственных инспекторов по энергетическому надзору, она является полезной и для руководителей (ответственных за электрохозяйство) энергослужб предприятий и организаций, особенно в части организации и подготовки электрохозяйства к контролю и исполнению прогнозируемых предписаний со стороны энергонадзора.

От знания и умения пользоваться НТД и ведомственными указаниями, инструкциями и рекомендациями, от их состояния, оформления, хранения и учета при том, что они постоянно находятся в обращении, во многом зависит успешное решение проблем в электроэнергетике предприятий (организаций).

Например, один лишь системный статистический анализ многолетних документов по аварийным ситуациям в электроустановках, которые долгие годы должны храниться в архивах предприятия, позволит выявить причины и часто скрытые факторы их возникновения и обоснованно принять надлежащие меры по предупреждению возможных и аналогичных по своей природе аварий.

2. Расчет защитного зануления

2.1 Расчет зануления - методика и формулы для расчета защитного зануления электрооборудования

Расчет зануления имеет целью определить условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него задачи — быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. В соответствии с этим защитное зануление рассчитывают на отключающую способность, а также на безопасность прикосновения к корпусу при замыкании фазы на землю (расчет заземления нейтрали) и на корпус (расчет повторного заземления нулевого защитного проводника).

а) Расчет на отключающую способность

При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключится, если значение тока однофазного короткого замыкания (т. е. между фазным и нулевым защитным проводниками) I_k , А, удовлетворяет условию

$$I_k \geq k \cdot I_{ном}$$

где k — коэффициент кратности номинального тока I_n А, плавкой вставки предохранителя или уставки тока срабатывания автоматического выключателя, А. (Номинальным током плавкой вставки называется ток, значение которого указано (выбито) непосредственно на вставке заводом-изготовителем. При этом токе плавкая вставка может работать сколь угодно долго, не перегорая и не нагреваясь выше установленной заводом-изготовителем температуры)

Значение коэффициента k принимается в зависимости от типа защиты электроустановки. Если защита осуществляется автоматическим выключателем, имеющим только электромагнитный расцепитель (отсечку), т. е. срабатывающим без выдержки времени, то k принимается в пределах 1,25—1,4.

Если установка защищается плавкими предохранителями, время перегорания которых зависит, как известно, от тока (уменьшается с ростом тока), то в целях ускорения отключения принимают

$$k \geq 3$$

Если установка защищается автоматическим выключателем с обратной зависимостью от тока характеристикой, подобной характеристике предохранителей, то также

$$k \geq 3$$

Значение I_k зависит от фазного напряжения сети U_ϕ и сопротивлений це-

пи, в том числе от полных сопротивлений трансформатора z_T , фазного проводника z_ϕ , нулевого защитного проводника $z_{НЗ}$, внешнего индуктивного сопротивления петли (контура) фазный проводник — нулевой защитный проводник (петли фаза — нуль) X_π , а также от активных сопротивлений заземлений нейтрали обмоток источника тока (трансформатора) r_0 и повторного заземления нулевого защитного проводника r_n (рисунок 2.1, а).

Поскольку r_0 и r_n , как правило, велики по сравнению с другими сопротивлениями цепи, можно не принимать во внимание параллельную ветвь, образованную ими. Тогда расчетная схема упростится (рисунок 2.1, б), а выражение для тока КЗ I_k , А, в комплексной форме будет

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{z_T}{3} + z_\phi + z_{НЗ} + jX_\pi}$$

или

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{z_T}{3} + z_\pi}$$

где U_ϕ — фазное напряжение сети, В;

z_T — комплекс полного сопротивления обмоток трехфазного источника тока (трансформатора), Ом;

z_ϕ — комплекс полного сопротивления фазного провода, Ом;

$z_{НЗ}$ — комплекс полного сопротивления нулевого защитного проводника, Ом;

R_ϕ и $R_{НЗ}$ — активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом;

X_ϕ и $X_{НЗ}$ — внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом;

— комплекс полного сопротивления петли фаза — нуль, Ом.

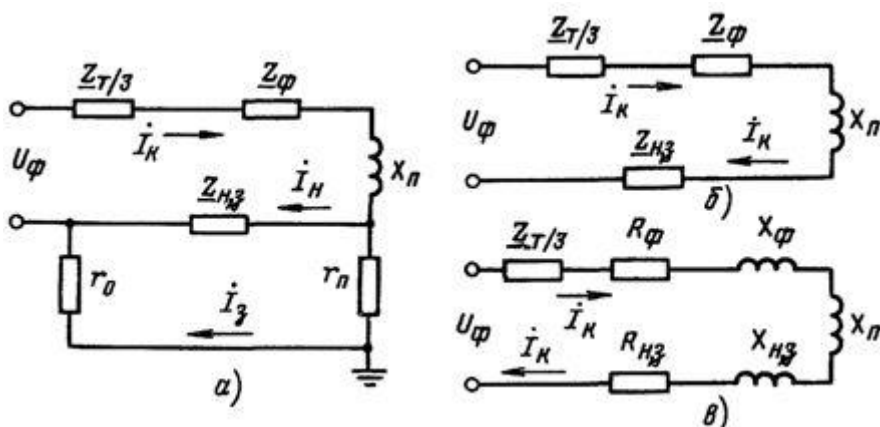


Рисунок 2.1 – Расчетная схема зануления в сети переменного тока на отключающую способность: а — полная, б, в — упрощенные

При расчете зануления допустимо применять приближенную формулу для вычисления действительного значения (модуля) тока короткого замыкания I_k , в которой модули сопротивлений трансформатора и петли фаза — нуль z_T и z_{Π} Ом, складываются арифметически:

$$I_k = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_T}{3} + z_{\Pi}}$$

Некоторая неточность (около 5%) этой формулы ужесточает требования безопасности и поэтому считается допустимой.

Полное сопротивление петли фаза — нуль в действительной форме (модуль) равно, Ом,

$$z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{нз}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{нз}} + X_{\Pi})^2}$$

Расчетная формула имеет следующий вид:

$$k \cdot I_{\text{ном}} \leq \frac{U_{\phi}}{\frac{z_T}{3} + \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{нз}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{нз}} + X_{\Pi})^2}}$$

Здесь неизвестными являются лишь сопротивления нулевого защитного проводника и, которые могут быть определены соответствующими вычислениями по этой же формуле. Однако, эти вычисления обычно не производятся, поскольку сечение нулевого защитного проводника и его материал принимаются заранее из условия, чтобы полная проводимость нулевого защитного проводника была не менее 50% полной проводимости фазного провода, т. е.

$$\frac{1}{z_{\text{нз}}} \geq \frac{1}{2 \cdot z_{\phi}}$$

или

$$z_{\text{нз}} \leq 2 \cdot z_{\phi}$$

Это условие установлено ПУЭ в предположении, что при такой проводимости I_k будет иметь требуемое значение

$$I_k \geq k \cdot I_{\text{ном}}$$

В качестве нулевых защитных проводников ПУЭ рекомендуют применять неизолированные или изолированные проводники, а также различные металли-

ческие конструкции зданий, подкрановые пути, стальные трубы электропроводок, трубопроводы и т. п. Рекомендуется использовать нулевые рабочие провода одновременно и как нулевые защитные. При этом нулевые рабочие провода должны обладать достаточной проводимостью (не менее 50% проводимости фазного провода) и не должны иметь предохранителей и выключателей.

Таким образом, расчет зануления на отключающую способность является поверочным расчетом правильности выбора проводимости нулевого защитного проводника, а точнее, достаточности проводимости петли фаза — нуль.

Значение z_T , Ом, зависит от мощности трансформатора, напряжения и схемы соединения его обмоток, а также от конструктивного исполнения трансформатора. При расчетах зануления значение z_T берется из таблиц (например, таблица 2.1).

Таблица 2.1

Приближенные значения расчетных полных сопротивлений z_T , Ом, обмоток масляных трехфазных трансформаторов

Мощность трансформатора, кВ А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	z_T , Ом, при схеме соединения обмоток	
		Y/Y _н	$\Delta/Y_{н}$ Y/Z _н
25	6-10	3,110	0,906
40	6-10	1,949	0,562
63	6-10	1,237	0,360
63	20-35	1,136	0,407
100	6-10	0,799	0,226
100	20-35	0,764	0,327
160	6-10	0,487	0,141
160	20-35	0,478	0,203
250	6-10	0,312	0,090
250	20-35	0,305	0,130
400	6-10	0,195	0,056
400	20-35	0,191	—
630	6-10	0,129	0,042
630	20-35	0,121	—
1000	6-10	0,081	0,027
1000	20-35	0,077	0,032
1600	6-10	0,054	0,017
1600	20-35	0,051	0,020

Примечание. Данные таблицы относятся к трансформаторам с обмотками низшего напряжения 400/230 В. При низшем напряжении 230/127 В значения сопротивлений, приведенные в таблице, необходимо уменьшить в 3 раза.

Значения R_{ϕ} и $R_{нз}$, Ом, для проводников из цветных металлов (медь, алюминий) определяют по известным данным: сечению s , мм², длине l м, и материалу проводников ρ . При этом искомое сопротивление

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s}$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, равное для меди 0,018, а для алюминия 0,028 Ом мм²/м.

Если нулевой защитный проводник стальной, то его активное сопротивление определяется с помощью таблиц, например таблице 2.2, в которой приведены значения сопротивлений 1 км (r_{ω} , Ом/км) различных стальных проводников при разной плотности тока частотой 50 Гц.

Для этого необходимо задаться профилем и сечением проводника, а также знать его длину и ожидаемое значение тока КЗ I_k , который будет проходить по этому проводнику в аварийный период. Сечением проводника задаются из расчета, чтобы плотность тока КЗ в нем была в пределах примерно 0,5-2,0 А/мм².

Таблица 2.2

Активные r_{ω} и внутренние индуктивные x_{ω} сопротивления стальных проводников при переменном токе (50 Гц), Ом/км

Размеры или диаметр сечения, мм	Сечение, мм ²	r_{ω}	x_{ω}	r_{ω}	x_{ω}	r_{ω}	x_{ω}	r_{ω}	x_{ω}
		при ожидаемой плотности тока в проводнике, А/мм ²							
		0,5		1,0		1,5		2,0	
Полоса прямоугольного сечения									
20 x 4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78
30 x 4	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,38	1,43	2,04	1,22
30 x 5	150	3,38	2,03	2,56	1,54	2,08	1,25	—	—
40 x 4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,54	0,92
50 x 4	200	2,28	1,37	1,79	1,07	1,45	0,87	1,24	0,74
50 x 5	250	2,10	1,26	1,60	0,96	1,28	0,77	—	—
60 x 5	300	1,77	1,06	1,34	0,8	1,08	0,65	—	—
5	19,63	17,0	10,2	14,4	8,65	12,4	7,45	10,7	6,4
6	28,27	13,7	8,20	11,2	6,70	9,4	5,65	8,0	4,8

Продолжение таблицы 2.2

Размеры или диаметр сечения, мм	Сечение, мм ²	r _ω	X _ω	r _ω	X _ω	r _ω	X _ω	r _ω	X _ω
		при ожидаемой плотности тока в проводнике, А/мм ²							
		0,5		1,0		1,5		2,0	
Проводник круглого сечения									
8	50,27	9,60	5,75	7,5	4,50	6,4	3,84	5,3	3,2
10	78,54	7,20	4,32	5,4	3,24	4,2	2,52	—	—
12	113,1	5,60	3,36	4,0	2,40	—	—	—	—
14	150,9	4,55	2,73	3,2	1,92	—	—	—	—
16	201,1	3,72	2,23	2,7	1,60	—	—	—	—

Значения X_{ϕ} и $X_{нз}$ для медных и алюминиевых проводников сравнительно малы (около 0,0156 Ом/км), поэтому ими можно пренебречь. Для стальных проводников внутренние индуктивные сопротивления оказываются достаточно большими, и их определяют с помощью таблиц, например, таблица 2.2. В этом случае также необходимо знать профиль и сечение проводника, его длину и ожидаемое значение тока.

Значение $X_{п}$, Ом, может быть определено по известной из теоретических основ электротехники формуле для индуктивного сопротивления двухпроводной линии с проводами круглого сечения одинакового диаметра d , м,

$$X_{п} = \omega \cdot L = \omega \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{\pi} \cdot l \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d}$$

где ω — угловая скорость, рад/с; L — индуктивность линии, Гн; μ_r — относительная магнитная проницаемость среды; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ — магнитная постоянная, Гн/м; l — длина линии, м; D — расстояние между проводами линии, м.

Для линии длиной 1 км, проложенной в воздушной среде ($\mu_r = 1$) при частоте тока $f = 50$ Гц ($\omega = 314$ рад/с), формула принимает вид, Ом/км,

$$X_{п} = 314 \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d} = 0,1256 \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d}$$

Из этого уравнения видно, что внешнее индуктивное сопротивление зависит от расстояния между проводами D и их диаметра d . Однако поскольку d изменяется в незначительных пределах, влияние его также незначительно и, следо-

вательно X_n , зависит в основном от D (с увеличением расстояния растёт сопротивление). Поэтому в целях уменьшения внешнего индуктивного сопротивления петли фаза — нуль нулевые защитные проводники необходимо прокладывать совместно с фазными проводниками или в непосредственной близости от них.

При малых значениях D , соизмеримых с диаметром проводов d , т. е. когда фазный и нулевой проводники расположены в непосредственной близости один от другого, сопротивление X_n незначительно (не более 0,1 Ом/км) и им можно пренебречь.

В практических расчетах обычно принимают $X_n = 0,6$ Ом/км, что соответствует расстоянию между проводами 70 — 100 см (примерно такие расстояния бывают на воздушных линиях электропередачи от нулевого провода до наиболее удаленного фазного).

2.2 Контрольные вопросы

1. Что такое «зануление»?
2. Каково назначение и принцип действия зануления?
3. В чем отличие защитного заземления и зануления?
4. В чем состоит назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления?
5. В чем состоит назначение повторного заземления защитного проводника?
6. Как осуществляется расчет на отключающую способность?
7. От чего зависит внешнее индуктивное сопротивление линии?
8. Как осуществляется расчет сопротивления заземления нейтрали?
9. Как осуществляется расчет сопротивления повторного заземления нулевого защитного проводника?

2.3 Контрольное задание

Для трехфазной цепи длиной 50 м, с питающими трансформатором, стальным нулевым защитным проводником и фазным проводником согласно варианта из таблицы 2.3 рассчитать сопротивление петли фаза-ноль. Погонное активное сопротивление проводов А-16 — 1,95 Ом/км, А-25 — 1,25 Ом/км, А-35 — 0,894 Ом/км, А-50 — 0,625 Ом/км, А-70 — 0,447 Ом/км. Реактивное сопротивление линии принять 0,06 Ом/км. Необходимые параметры для трансформатора и нулевого проводника взять из таблиц 2.1, 2.2.

Варианты заданий

Вариант	Мощность трансформатора, кВ А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	Размеры сечения нулевого защитного проводника, мм	Фазные проводники
1	25	10	20 х 4	А-16
2	40	10	20 х 4	А-16
3	63	10	30 х 4	А-25
4	63	35	30 х 4	А-25
5	100	10	30 х 5	А-25
6	100	35	30 х 5	А-25
7	160	10	40 х 4	А-35
8	160	35	40 х 4	А-35
9	250	10	40 х 4	А-35
10	250	35	50 х 4	А-35
11	400	10	50 х 4	А-50
12	400	35	50 х 4	А-50
13	630	10	50 х 5	А-50
14	630	35	50 х 5	А-50
15	1000	10	50 х 5	А-70
16	1000	35	60 х 5	А-70
17	1600	10	60 х 5	А-70
18	1600	35	60 х 5	А-70

3 Расчет защитного заземления

3.1 Основные понятия и методика расчета

Назначение и принцип устройства защитного заземления.

При обслуживании производственного оборудования, использующего электроэнергию, работающие прикасаются к его нетоковедущим металлическим частям. Такой контакт обычно является нормальной операцией. В процессе эксплуатации может происходить повреждение изоляции электрооборудования. Повреждение изоляции, как правило, сопровождается замыканием на корпус электроустановки, т.е. случайным соединением токоведущих частей с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. В результате чего корпус электроустановки, а через него все оборудование и обслуживающий персонал могут оказаться под напряжением, что приводит к поражению электротоком.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции и замыкании на корпус «Правилами устройства электроустановок» предусматривается ряд защитных мер, одним из них является применение защитного заземления.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциалов, разряд молнии, наведение статического электричества и др.).

Принцип действия защитного заземления можно рассмотреть на примере схемы питания электроустановки (рисунок 3.1). Человек, с сопротивлением тела касаясь корпуса электроустановки, на которой произошел пробой изоляции, оказывается под защитой сопротивления заземления r_3 , которое включено параллельно $R_ч$. Так как $R_ч \gg r_3$, то ток короткого замыкания, протекает по пути наименьшего сопротивления, т. е. через заземлитель и ток

$$I_{чел} \ll I_{зав.}$$

При замыкании одной фазы на корпус электроустановки, корпус окажется под напряжением, в случае отсутствия соединения корпуса с землей, прикосновение к нему также опасно, как и прикосновение к фазе.

Защитное заземление, как мера защиты людей от поражения электрическим током, при возникновении напряжения на нетоковедущих частях электроустановок в результате повреждения изоляции и замыкании на корпус заключается в электрическом соединении корпусов электроустановок с заземляющим

устройством. Защитное действие заземления состоит в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения и тока протекающего через человека, обусловленных замыканием на корпус.

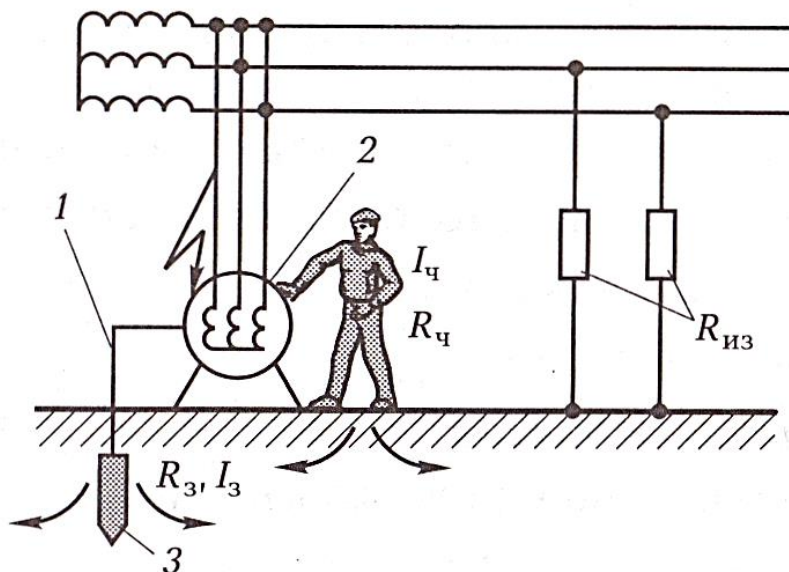


Рисунок 3.1 – Принцип действия защитного заземления

Эффективность заземления зависит от его сопротивления, чем меньше сопротивление, тем выше его защитная эффективность.

Область применения защитного заземления:

- В трехфазных трехпроводных сетях напряжения до 1000В переменного тока с изолированной нейтралью или изолированным выводом источника однофазного тока, а также в сетях постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока;

- В сетях напряжения выше 1000В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали или средней точки.

В соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» заземлению подлежат:

- все электроустановки при напряжении 380В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока при эксплуатации в любых помещениях;

- наружные электроустановки напряжением 42В и выше переменного тока и 110В и выше постоянного тока, работающих в условиях с повышенной опасностью и в особо опасных условиях;

- электроустановки любого напряжения, работающие во взрывоопасных помещениях.

В заземляющее устройство входит заземлитель (металлический проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом) и заземляющие проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Заземлителем называется металлический проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные(сосредоточенные) и контурные (рисунок 3.2). Заземлители выносных заземлений располагают сосредоточенно на расстоянии свыше 20 м от заземляемого оборудования, т. е. вне зоны растекания тока замыкания на землю.

Заземлители контурного заземления располагают по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование. Все эти заземлители электрически соединены друг с другом.

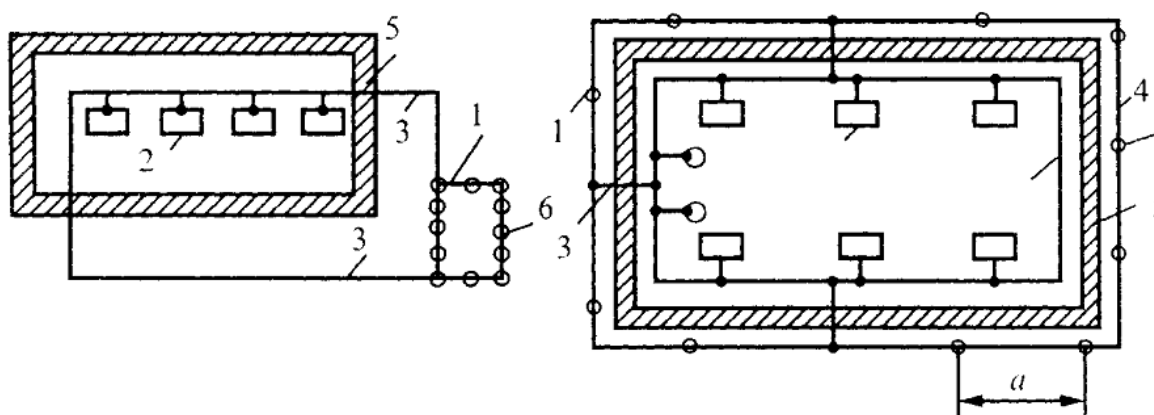


Рисунок 3.2 – Схема защитного заземления

1 – заземлители; 2 – электроустановки; 3 – заземляющие проводники (внутренний контур); 4 – внешний контур заземления; 5 – электропомещение или площадка с размещенным электрооборудованием; 6 – заземлители.

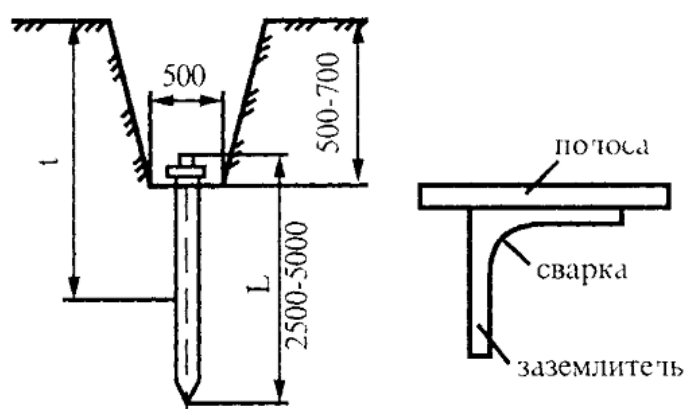


Рисунок 3.3 – Заземлители

Заземлители могут быть естественными и искусственными.

Искусственные заземлители выполняются в виде электродов. По расположению в грунте и по форм электродов заземлители делятся на углубленные,

состоящие из полос или круглой стали, укладываемых глубоко на дно котлоvana горизонтально по периметру фундаментов, вертикальные, состоящие из электродов, верхний конец которых заглубляется на 0,5-0,7 м от поверхности земли; в качестве их используют стальные вертикальные заложённые стержни диаметром 10-16 мм, (или отрезки стальных труб, различного диаметра), длиной 3-5 м, а также уголковая сталь длиной 2,5-3м (рисунок 3.3); горизонтальные (протяжённые), состоящие из электродов, применяемых для связи между собой вертикальных заземлителей, соединяемых сваркой. В качестве таких заземлений используется круглая сталь диаметром не менее 10 мм или стальные полосы толщиной не менее 4 мм, сечением 48 мм².

В качестве заземляющих проводников-ответвлений к оборудованию, где по условиям работы не требуются гибкие проводники, применяются медные или алюминиевые проводники. В качестве заземляющих проводников, образующих заземляющую магистраль, применяется полосовая или круглая сталь, сечением порядка 48 мм².

Таблица 3.1

Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников, мм

Заземлитель	Место расположения		
	в зданиях	в наружных установках	в земле
Круглые, диаметром, мм	5	6	10
Прямоугольные, сечением, мм	24	48	48
Прямоугольные, толщиной, мм	3	4	4
Угловая сталь с толщиной полос, мм	2	2,5	4
Стальные водо-газопроводные (некондиционные) трубы с толщиной стенок, мм	2,5	2,5	3,5

Таблица 3.2

Наименьшие сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 В

Проводники	Сечением, мм	
	медь	алюминий
Без изоляции при открытой прокладке	4	6
Изолированные	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов, входящих в общей защитной оболочке с средними жилами	4	6

Заземляющий проводник присоединяется к заземлению сваркой внахлестку не менее чем в двух местах. Длина нахлестки должна быть равна двойной ширине проводника при прямоугольном сечении или круглом шести диаметрам. Болты (винты, шпильки) для крепления заземляющего проводника должны изготавливаться из стойкого в отношении коррозии металла. Диаметр болта (винта, шпильки), зависит от номинального тока потребителя: при токе потребителя до 16 А, диаметр болта 4 мм потребителя 250-300 А диаметр болта 10 мм. Нельзя применять для выполнения заземления крепежные детали машин, оборудования.

Таблица 3.3

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок

Характеристика объекта	Сопротивление, Ом
Электроустановки напряжением 110 кВ и выше сетей с эффективным заземлением нейтрали, выполненные по нормам на сопротивление	0,5 $0,002 \cdot 0,5 \rho$
Электроустановки 3-35 кВ сетей с изолированной нейтралью	$250/I_p^*$, но не более 10 Ом $0,002\rho \cdot 250/I_p$
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью напряжением: 660/380 В 380/220 В 220/127 В	15** ($15 \cdot 0,01 \rho$) 30** ($30 \cdot 0,01 \rho$) 60** ($60 \cdot 0,01 \rho$)
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью при мощности источника питания: более 100 кВА до 100 кВА	$50/I_p^*$, но не более 4 Ом $50/I_p^*$, но не более 10 Ом

* I_p - расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается:
в сетях без компенсации емкостного тока замыкания на землю – ток замыкания на землю;

в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю:

- для электроустановок, к которым присоединены компенсирующие аппараты, - ток, равный 125% номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

- для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, - ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

** - сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Таблица 3.4

Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств

Грунт, вода	Удельное сопротивление, Ом·м	Грунт, вода	Удельное сопротивление, Ом·м
Торф	20	Гравий, щебень	2000
Чернозем	30	Каменистый грунт	4000
Садовая земля	50	Скалистый грунт	10 ⁴ -10 ⁷
Глина	60	Вода морская	0,2-1
Суглинок	100	Вода речная	10-100
Лесс	250	Вода прудовая	40-50
Супесь	300	Вода грунтовая	20-70
Песок	500	Каменный уголь	100-150

Таблица 3.5

Значение сезонных повышающих коэффициентов К

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых электродов	Климатические зоны			
	1	2	3	4
1. Климатические признаки зон				
Средняя температура января	-20...-15	-14...-10	-14...0	0...+5
Средняя температура июля	16-18	18-22	22-24	24-26
Продолжительность замерзания воды, дней	170-190	150	100	0
2. Значения коэффициента К				
При применении вертикальных электродов длиной 3 м и глубиной заложения t=0,7-0,8 м	1,65	1,45	1,3	1,1
То же при длине электродов 5 м.	1,35	1,25	1,15	1,1
То же при применении горизонтальных электродов длиной 20 м и t=0,7-0,8 м	5,5	3,5	2,5	1,5
То же при длине 50 м.	4,5	3,0	2,0	1,4

3.1 Алгоритм расчета заземления

Расчет производится в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с рекомендациями по использованию заземляющих устройств и составить эскиз заземляющего устройства.

2. Определить допустимое сопротивление заземляющего устройства - $3R$ по таблице 3 или правилам устройства электроустановок

3. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта, в котором предполагается размещать электроды заземления, по данным таблиц 3.4 и 3.5

$$\rho_{расч} = \rho \cdot k$$

4. В случае возможности использования естественных заземлителей определяется сопротивление току растекания этих заземлителей R_e путем измерения или расчетным путем.

5. Определяется предварительно конфигурация заземлителя (в ряд, прямоугольник и т. п.) с учетом возможности размещения его на отведенной территории, участке.

6. Выбирается тип и размеры заземлителей - вертикальных электродов и соединительной полосы или протяженных заземлителей или других.

7. Определяется сопротивление растеканию тока с одного заземлителя $R_1=R_b$ по соответствующим формулам таблицы 3.6 (в формулу подставляется $\rho_{расч}$ вместо ρ).

8. Определяется требуемое сопротивление искусственного заземляющего устройства по формуле

$$R_{умп} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3}$$

10. Определим, предварительно, необходимое количество вертикальных заземлителей по формуле

$$n = \frac{L_r}{a}$$


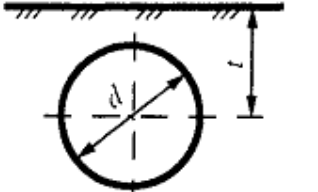
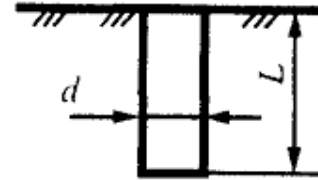
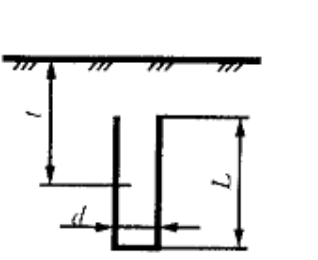
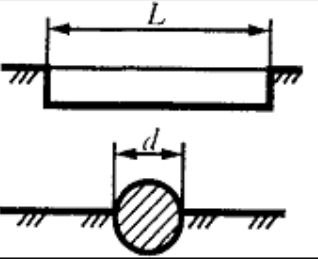
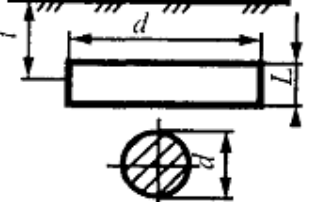
где

L_r – длина горизонтального электрода, м;

a – расстояние между вертикальными заземлителями, которое может быть равно одной, двум или трем длинам вертикальных заземлителей

Таблица 3.6

Формулы для вычисления сопротивления единичных заземлителей

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
1	2	3	4
1. Полушаровой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot d}$	-
2. Шаровой в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot d} \left(1 + \frac{D}{4t} \right)$	$2 \cdot t \gg d$
3. Трубчатый или стержневой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d$ Для уголка с шириной b $d = 0,95 \cdot b$
4. То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L}{4t - L} \right)$ или приближенно $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d, t \geq 0,5 \text{ м}$ Для уголка с шириной b $d = 0,95 \cdot b$
5. Протяженный на поверхности земли (труба, стержень, кабель)		$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$	$L \gg d$ Для колонны: $d = 0,5 \cdot b$ b – ширина полосы
6. Протяженный в земле (труба, стержень, кабель)		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{dt}$	$L \gg d$ $L \gg 4t$ Для колонны $d = 0,5 \cdot b$

7. Кольцевой круглого сечения на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	Для полосы шириной b : $d=0,5 \cdot b$ $D \gg d$
8. Кольцевой круглого сечения в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{4\pi D^2}{dt}$ или приближенно $R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	$D \gg d$ $D \gg 2t$ Для полосы шириной b : $d=0,5 \cdot b$
9. Круглая пластина на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2D}$	$2t \gg d$
10. То же в земле		Приближенно (погрешность 30%): $R = \frac{\rho}{2D}$	-
11. Пластиночный в земле (пластина поставлена на ребро)		Приближенно: $R = \frac{\rho}{4\sqrt{a \cdot b}}$	$t = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}$
Примечание: В формулах ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м.			

Таблица 3.7

Коэффициенты использования η_v вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т. п.) без учета влияния полосы связи

Число заземлителей, n	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	электроды размещены в ряд (рисунок 3.4а)			электроды размещены по контуру (рисунок 3.4б)		
4	0,85	0,91	0,94	-	-	-
6	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
9	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблица 3.8

Коэффициенты использования η_r вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т. п.) без учета влияния полосы связи

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные электроды размещены в ряд (рисунок 3.4а)								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Вертикальные электроды размещены по контуру (рисунок 3.4б)								
		0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
		0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
		0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Таблица 3.9

Коэффициенты использования $\eta_{г.п.}$ параллельно уложенных горизонтальных полосовых электродов группового заземлителя (ширина полосы $b=20 \times 40$ мм, глубина заложения $t_0=0,3-0,8$ м) (рисунок 3.4в)

Длина каждой полосы, м	Число параллельных полос	Расстояние между параллельными полосами, м				
		1	2,5	5	10	15
15	2	0,63	0,75	0,83	0,92	0,96
	5	0,37	0,49	0,60	0,73	0,79
	10	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72
	20	0,16	0,27	0,39	0,57	0,64
25	5	0,35	0,45	0,55	0,66	0,73
	10	0,23	0,31	0,43	0,57	0,66
	20	0,14	0,23	0,33	0,47	0,57
50	2	0,60	0,69	0,78	0,88	0,93
	5	0,33	0,40	0,48	0,58	0,65
	10	0,20	0,27	0,35	0,46	0,53
	20	0,12	0,19	0,25	0,36	0,44

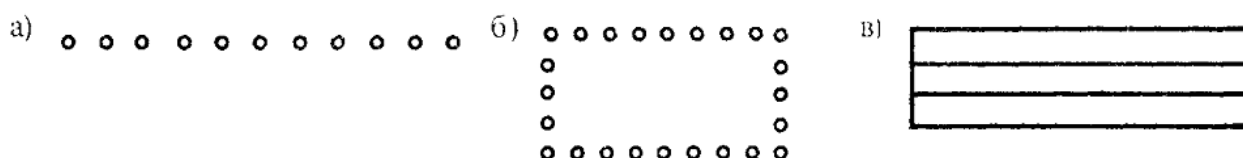


Рисунок 3.4. Способы размещения электродов группового заземлителя (вид в плане) а – вертикальные электроды размещены в ряд; б – вертикальные электроды размещены по контуру; в – горизонтальные электроды уложены параллельно друг другу на одинаковой глубине

11. Определяется сопротивление $R_2=R_r$ растеканию тока горизонтального электрода по соответствующей формуле таблицы 3.6 (в формулу подставляется вместо ρ вместо $\rho_{расч}$).

12. Определяется сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей:

$$R'_u = \frac{R_\theta \cdot R_2}{R_\theta \cdot \eta_2 + R_2 \cdot \eta_\theta \cdot n}$$

где η_r – коэффициент использования горизонтального электрода с учетом вертикальных электродов, определяется по таблице 3.8;

η_v – коэффициент использования вертикальных электродов (по таблице 3.7);

n – число вертикальных электродов.

Полученное сопротивление искусственных электродов не должно превышать требуемое сопротивление

$$R'_u < R_{умр}$$

Если это условие не удовлетворяется, то необходимо выбрать другие параметры заземлителей или изменить их количество и провести перерасчет.

13. При отсутствии естественных заземлителей R_e пункты 3 и 7 опускаются и условие принимает вид

$$R'_u < R_{дон} = R_H$$

14. Сопротивление заземления состоит из суммы сопротивления заземлителей растеканию тока и сопротивления заземляющих проводников:

$$R_\Sigma = R'_\Sigma + R_{пр}$$

Сопротивление проводников $R_{пр}$ учитывается при большой протяженности проводников (несколько десятков метров).

Сопротивление заземления не должно превышать допустимого значения

$$R_\Sigma < R_H = R_{дон}$$

В противном случае требуется изменить параметры заземлителей и провести перерасчет.

В заключение расчета приводится схема размещения заземлителей, например, как это показано на рисунке 3.5.

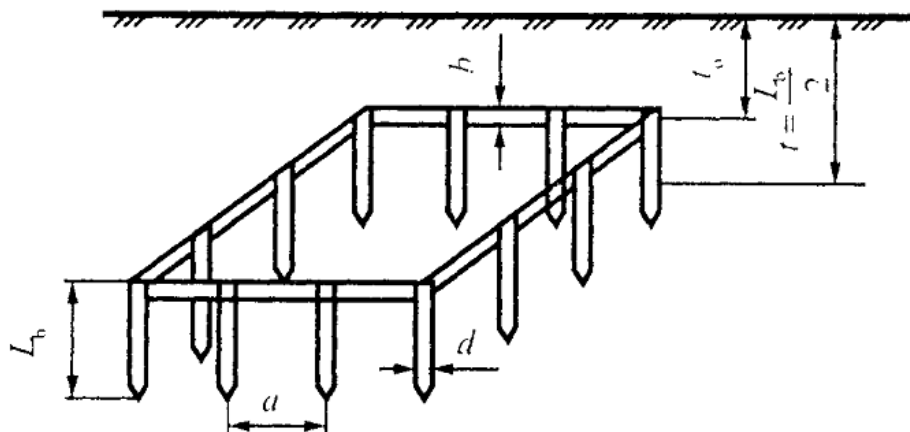


Рисунок 3.5. Пример схемы размещения заземлителей при контурном заземлении

3.3. Пример расчета

Задание: Рассчитать сопротивление защитного заземления для электропитающей установки мощностью 35кВт, распределяющей энергию напряжением 380/220В. Электропитающая установка размещена на первом этаже производственного здания, имеющего металлические конструкции, имеющего хороший контакт с землей. Желательно, чтобы заземляющее устройство включало в себя естественные заземлители, сопротивление растеканию тока, которых $R_e=20$ Ом. Здание имеет периметр 70 м. Грунт - суглинок. Производственное здание размещено во второй климатической зоне.

Решение:

1. Требуемое сопротивление защитного заземления в соответствии с таблицей 3.3 не должно превышать $R_3 = R_H = 4$ Ом.
2. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта в соответствии с данными таблиц 3.4 и 3.5:

$$\rho_{расч} = \rho \cdot k = 100 \cdot 1,45 = 145 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

3. Принимаем сопротивление естественных заземлителей равным $R_e = 20$ Ом.
4. Определяем предварительно конфигурацию заземлителя (в ряд, прямоугольник, и т. п. в соответствии с рисунком 3.4) с учетом возможности размещения его на отведенной территории участка. Выберем контурное размещение заземлителей. Контурный заземлитель размещается по периметру здания, длина которого $L_r=70$ м.
5. В качестве искусственных вертикальных заземлителей выбираем стальные стержни длиной $L=2,5$ м, диаметром $d = 12$ мм, верхние концы которых соединяются стальной полосой сечением $20 \times 4 \text{ мм}^2$, уложенной в грунт (суглинок), при глубине заложения $t_0=0,5$ м.

6. Определяем сопротивление растеканию тока с одного заземлителя R_1 по соответствующей формуле, приведенной в таблице 3.6.

$$R_1 = \frac{\rho_{рас}}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right) = \frac{145}{2 \cdot 314} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 55 \text{ Ом}$$

7. Определяем требуемое сопротивление искусственного заземляющего устройства:

$$R_{ump} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} = \frac{20 \cdot 4}{20 - 4} = 5 \text{ Ом}$$

8. Определим предварительно необходимое количество вертикальных заземлителей n , приняв расстояние между ними

$$\alpha = 2L = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м,}$$

$$n = \frac{L_2}{\alpha} = \frac{70}{5} = 14 \text{ штук.}$$

9. Определяем сопротивление растеканию тока с горизонтального заземлителя по формуле, приведенной в таблице 3.6:

$$R_2 = \frac{\rho_{рас}}{2\pi L_2} \ln \frac{2L_2^2}{0,5b \cdot t_0} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 70} \ln \frac{2 \cdot 70^2}{0,5 \cdot 0,0004 \cdot 0,5} = 6 \text{ Ом}$$

10. Коэффициент использования вертикальных и горизонтальных электродов определяем по таблицам 3.7 и 3.8, соответственно с учетом интерполяции

$$\eta_e = 0,66 \text{ и } \eta_z = 0,36.$$

11. Сопротивление растеканию группового искусственного заземлителя определяем по формуле

$$R'_u = \frac{R_e \cdot R_2}{R_e \cdot \eta_z + R_2 \cdot \eta_e \cdot n} = \frac{55 \cdot 6}{55 \cdot 0,36 + 6 \cdot 0,66 \cdot 14} = 4,4 \text{ Ом}$$

12. Общее сопротивление (действительное) заземляющего устройства

$$R_{3y} = \frac{R_e \cdot R'_u}{R_e + R'_u} = \frac{20 \cdot 4,4}{20 + 4,4} = 3,66 \text{ Ом}$$

что меньше требуемого по ГОСТ 12.1.030-81.

3.4 Контрольное задание

Используя алгоритм рассчитать сопротивление защитного заземления для электропитающей установки мощностью 10 кВт, распределяющей энергию напряжением 380/220В.

Электропитающая установка размещена в одноэтажном производственном здании, имеющем металлические конструкции и хороший контакт с землей. Заземляющее устройство включает в себя естественные заземлители, сопротивление растеканию тока, которых $R_e=30$ Ом. Здание имеет периметр 100 м. Вид грунта и климатическая зона принимаются для расчета по вариантам таблицы 3.10.

Таблица 3.10

Исходные данные для расчета защитного заземления

Вариант	Вид грунта	Климатическая зона
1	Чернозем	IV
2	Садовая земля	II
3	Глина пластинчатая	III
4	Суглинок полутвердый	I
5	Песок	II
6	Гравий	II
7	Щебень	I
8	Почва	II
9	Глина полутвердая	I
10	Супесь	II
11	Песок	I
12	Каменистый грунт	III
13	Скалистый грунт	IV
14	Торф	I
15	Лесс	II
16	Гравий	III
17	Щебень	IV
18	Песок	III
19	Чернозем	III
20	Каменистый грунт	I
21	Песок	IV
22	Гравий	I
23	Каменный уголь	II
24	Почва	III
25	Глина пластинчатая	I

3.5 Контрольные вопросы

1. Что такое защитное заземление?
2. Назначение, область применения защитного заземления.
3. Принцип действия защитного заземления.
4. Что собой представляет заземляющее устройство?
5. Перечислите типы заземляющих устройств.
6. Каков порядок расчета защитного заземления?
7. В каком случае заземление является эффективным?

4 Расчет молниезащиты

4.1 Характеристика грозовой деятельности и грозопоражаемости зданий и сооружений

Об интенсивности грозовой деятельности в различных районах Земли судят по повторяемости и продолжительности гроз, регистрируемых в днях или часах за год по слышимому грому в начале и конце грозы. Однако более важной характеристикой для оценки возможного числа поражений объектов молнией является плотность ударов молнии в землю.

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений 1 км² земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте расположения объекта.

Если же плотность ударов в землю (N_q) неизвестна, её можно рассчитать по следующей формуле, 1/(км² год):

$$N_q = 6,7 \cdot T_d / 100,$$

где T_d – среднегодовая продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности (таблица 4.1).

Таблица 4.1

Укрупненные данные по грозовой активности на территории России

В районе городов	Среднегодовая продолжительность гроз, ч	Плотность ударов молнии в землю, 1/км ² год
Анадырь, Верхоянск, Магадан, Мурманск, Южно-Сахалинск,	10	0,5
Норильск, Архангельск, Астрахань, Игарка	10–20	1,0
Иркутск, Казань, Калининград, Киров, Красноярск, С-Петербург, Москва, Ульяновск	20–40	2,0
Волгоград, Н-Новгород, Новосибирск, Псков, Ростов-на-Дону, Уфа, Чита, Екатеринбург, Челябинск	40–60	4,0
Брянск, Краснодар, Курск, Орел, Смоленск	60–80	5,5

При расчете числа поражений нисходящими молниями принимается, что возвышающийся объект принимает на себя разряды, которые в его отсутствие поразили бы поверхность земли определенной площади (так называемую поверхность стягивания). Эта площадь имеет форму круга для сосредоточенного объекта (вертикальной трубы или башни) и форму прямоугольника для протяженного объекта.

Имеющаяся статистика поражений объектов разной высоты в местностях с разной продолжительностью гроз позволила определить связь между радиусом стягивания (r_0) и высотой объекта (h_x); в среднем его можно принять

$$r_0 = 3h_x.$$

Анализ показывает, что сосредоточенные объекты поражаются нисходящими молниями высотой до 150 м. Объекты выше 150 м на 90 %, как было отмечено ранее, поражаются восходящими молниями.

4.2 Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты

Защищаемые объекты разделены на три категории, отличающиеся по тяжести возможных последствий при поражении молнией.

К I категории отнесены производственные помещения, в которых при нормальных технологических режимах могут находиться и образовываться взрывоопасные концентрации газов, паров, пылей, волокон.

Ко II категории отнесены здания и сооружения, в которых появление взрывоопасной концентрации веществ происходит в результате нарушения нормального технологического режима, а также наружные установки, содержащие взрывоопасные жидкости и газы. Для этих объектов удар молнии создает опасность взрыва только при совпадении с технологической аварией либо срабатывании дыхательных или аварийных клапанов на наружных установках.

К III категории отнесены объекты, последствия поражения которых связаны с меньшим материальным ущербом, чем при наличии взрывоопасной среды. Сюда относятся здания и сооружения с пожароопасными помещениями или строительные конструкции низкой огнестойкости, большие общественные здания, высокие сооружения типа труб, башен, монументов.

В приложениях П.4, П.5, П.6 приведены дополнительные данные по ряду защищаемых объектов, подлежащих обязательному обустройству молниезащиты, по категориям, взрывопожароопасным зонам и степеням огнестойкости.

4.3 Средства и способы защиты от молнии

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система (МЗС)) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС).

Средством защиты от прямых ударов молнии служит молниеотвод – устройство, рассчитанное на непосредственный контакт с каналом молнии и отводящее её ток в землю.

Внешняя молниезащитная система (МЗС) может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие стержневые молниеотводы, (рисунок 4.1) или отдельно стоящие тросовые молниеотводы (рисунок 4.2), а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), также может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью (в последнем случае они называются естественными молниеприемниками).

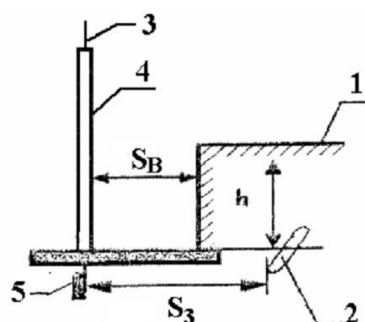


Рисунок 4.1. Вертикальный молниеотвод: 1 – защищаемый объект; 2 – металлические коммуникации; 3 – молниеприемник; 4 – токоотвод; 5 – заземлитель; S_B – расстояние от защищаемого объекта до опоры токоотвода; S_3 – расстояние от заземлителя до металлических коммуникаций

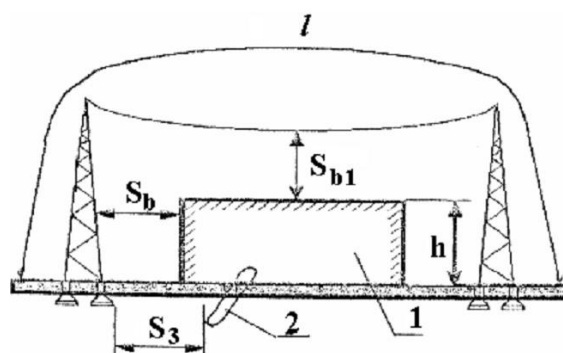


Рисунок 4.2. Горизонтальный тросовый молниеотвод: 1 – защищаемый объект; 2 – металлические коммуникации; S_{b1} – наименьшее допустимое расстояние от защищаемого объекта до троса в середине пролета; S_3 – расстояние от заземления до металлических конструкций; l – суммарная длина молниеприемников и токоотводов

Материал и сечения элементов внешней МЗС выбирают по таблице 4.2

Таблица 4.2

Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ²		
		Молниеприемника	Токоотвода	Заземлителя
I – IV	Сталь	50	50	80
I – IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I – IV	Медь	35	16	50

4.4 Требования к выполнению молниезащиты зданий и сооружений

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

Если площадь помещения I категории молниезащиты менее 30 % площади всех помещений зданий, молниезащиту всего здания допускается выполнять по II категории независимо от категории остальных помещений.

Аналогичное допущение справедливо и для II категории молниезащиты с переводом её в третью.

В случае, если более 70 % общей площади не подлежит молниезащите, то независимо от категории защиты остальных помещений, все же должна быть предусмотрена защита от заноса высоких потенциалов по коммуникациям, вводимым в помещения, подлежащие молниезащите.

При строительстве объектов, начиная с высоты 20 м, необходимо предусматривать временные мероприятия по молниезащите.

При наличии на зданиях и сооружениях I категории молниезащиты труб для отвода газов, паров и взвесей взрывоопасной концентрации в зону защиты должно входить пространство над обрезом труб, ограниченное радиусом 5 м.

Для зданий и сооружений I категории высотой не более 30 м при сопротивлении грунта $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ наименьшее допустимое расстояние до молниеотвода $S_b = 3 \text{ м}$; при $100 < \rho \leq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, S_b рассчитывается по формуле

$$S_b = 3 + 0,01(\rho - 100), \text{ м.}$$

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

При устройстве молниезащиты по II и III категориям расстояние от молниеотводов до защищаемого объекта по воздуху и земле не нормируется.

Для тросовых молниеприемников при длине $l < 200$ м наименьшее допустимое расстояние S_{b1} , м, равно при $\rho \leq 100$ Ом м $S_{b1} = 3,5$ м; при $100 < \rho \leq 1000$ Ом м $S_{b1} = 3,5 + 0,003(\rho - 100)$ 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.

4.5 Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h представляет собой круговой конус (рисунок 4.3), вершина которого находится на высоте $h_0 < h$. На уровне земли зона защиты образует круг радиусом r_0 .

Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения h_x представляет собой круг радиусом r_x .

Зоны защиты молниеотводов имеют следующие габаритные размеры:

Зона А: $h_0 = 0,85h$; $r_0 = (1,1 - 0,002h) \cdot h$; $r_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85)$.

Зона Б: $h_0 = 0,92h$; $r_0 = 1,5h$; $r_x = 1,5(h - h_x/0,92)$.

При известных значениях h_x и r_x высота одиночного стержневого молниеотвода для зоны Б может быть определена по формуле

$$h = (r_x + 1,63h_x)/1,5.$$

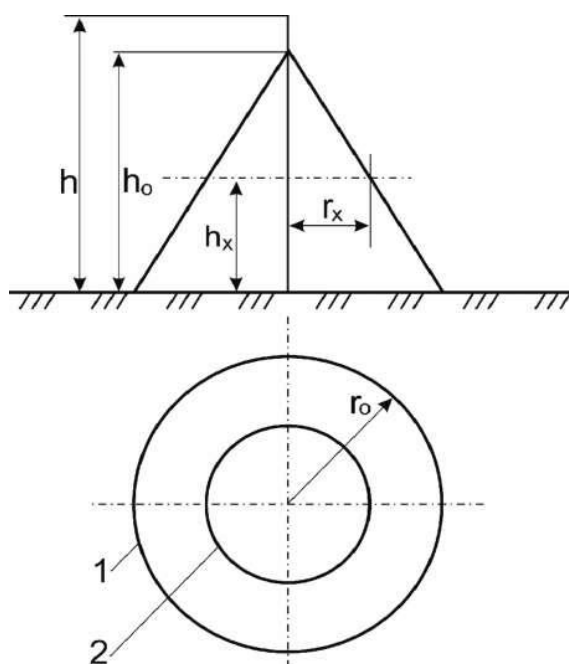


Рисунок 4.3. Зона защитного одиночного стержневого молниеотвода:

1 – граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 – граница зоны защиты на уровне земли

4.6. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода приведены на рисунке 4.4, где h – высота троса в середине пролета.

С учетом стрелы провеса троса сечением $35 \times 50 \text{ мм}^2$ при известной высоте опор $h_{\text{оп}}$ и длине пролета «а» высота троса определяется, м,:

$$h = h_{\text{оп}} - 2 \text{ при } a < 120 \text{ м;}$$

$$h = h_{\text{оп}} - 3 \text{ при } 120 < a < 150 \text{ м.}$$

Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода имеют следующие размеры:

Зона А:

$$h_0 = 0,85h; r_0 = (1,35 - 0,0025h) \cdot h;$$

$$r_x = (1,35 - 0,0025h)(h - h_x/0,85).$$

Зона Б:

$$h_0 = 0,92h; r_0 = 1,7h; r_x = 1,7(h - h/0,92)$$

Для зоны типа Б высота одиночного тросового молниеотвода при известных значениях h_x и r_x определяется по формуле

$$h = r_x + 1,85h_x/1,7.$$

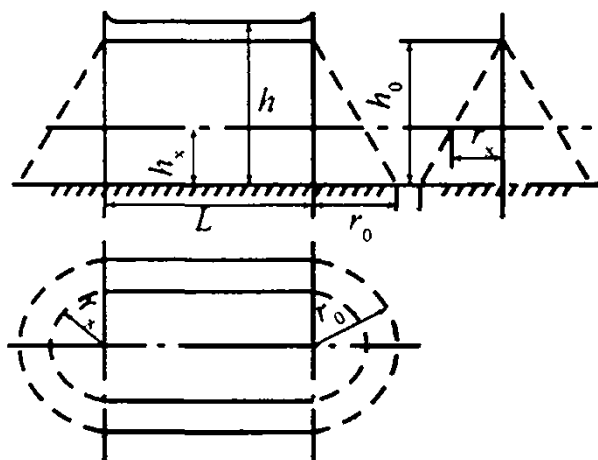


Рисунок 4.4. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода:

4.7 Контрольные вопросы

1. Какова природа возникновения молнии?
2. Каковы виды опасных воздействий молнии?
3. Назовите основные элементы конструкции молниеотвода.
4. Каким количественным показателем определяется защитное действие молниеотвода?
5. Что такое поверхность стягивания и чему она ориентировочно равна?
6. Дайте классификацию защищаемых объектов.

4.8. Контрольное задание и последовательность расчета

Согласно варианта рассчитайте одиночный стержневой молниеотвод (таблица 4.3), одиночный тросовый молниеотвод (таблица 4.4).

Таблица 4.3

Варианты задания для расчета одиночного стержневого молниеотвода

№ варианта	Место расположения объекта	Характеристика защищаемого объекта		Размеры объекта, м				Удельное сопротивление грунта, ρ , Ом·м
		Зона класса взрывопожароопасности	Тип здания	L	S	H	$D_{\text{верх}}/ D_{\text{назем}}$	
1	Киров	П-III	жилой дом	6	4	4	-	250
2	Уфа	В-III	цех	16	8	6	-	150
3	Брянск	В-I	цех	20	8	6	-	120
4	Смоленск	П-II	цех	18	6	6	-	150
5	Ростов-на Дону	П-II	столовая	24	8	8	-	220
6	Норильск	П-III	водонапорная башня	-	-	12	2/4	180
7	Южно-Сахалинск	В-II	цех	80	24	15	-	180
8	Волгоград	П-III	дымовая труба	-	-	60	1,2/4	180
9	Кемерово	П-II	дымовая труба	-	-	50	1,3/4	180
10	Краснодар	В-IIб	цех	60	18	18	-	220

Таблица 4.4

Варианты задания для расчета одиночного тросового молниеотвода

№ ва ри ан та	Место расположения объекта	Характеристика защищаемого объекта		Размеры объекта, м			Марка троса	Ско- рость ветра, v, м/с	Удельное электросо- противление грунта, ρ, Ом·м
		зона клас- са взрыво- пожаро- опасности	тип зда- ния	L	S	H			
1	Архангельск	В-I	цех	70	6	6	С-35	20	300
2	Астрахань	В-I	цех	120	12	12	С-50	20	500
3	Казань	В-II	цех	110	20	12	С-25	30	1000
4	Петрозаводск	В-I	цех	72	12	12	С-25	20	800
5	Москва	В-I	цех	120	12	8	С-25	25	350
6	Екатеринбург	П-III	цех	100	12	12	С-50	30	150
7	Псков	П-III	жил дом	80	10	8	С-50	25	800
8	Брянск	П-III	цех	150	12	12	С-35	30	1000
9	Орел	П-III	цех	120	18	10	С-70	20	1000
10	Магадан	П-III	цех	140	18	8	С-70	25	300
11	Иркутск	П-III	цех	60	12	10	С-50	20	240
12	Самара	П-III	цех	140	12	6	С-50	20	220
13	Новосибирск	П-III	цех	100	18	12	С-35	25	300
14	Курск	П-II	цех	120	12	10	С-70	25	500
15	Краснодар	В-I	цех	90	12	6	С-35	30	180

Таблица 4.5

Данные по расчету зоны защиты молниеотвода

Вариант задания		
Место расположения объекта		
Размеры объекта, м	Длина, L	
	Ширина, S	
	Высота, H	
	Диаметр верхней части объекта, $D_{\text{верх}}$	
	Диаметр наземной части объекта, $D_{\text{назем}}$	
дельное сопротивление грунта, ρ , Ом·м		
Зона класса взрыво-пожароопасности и ее характеристика		
Категория молниезащиты		
Тип зоны защиты		
Степень огнестойкости здания		
Удельная плотность ударов молнии в землю, $n/\text{км}^2 \cdot \text{год}$		
Количество поражений объекта молнией, раз/год		
Расстояние от объекта до молниеотвода, $S_{\text{в}}$, м		
Радиус зоны защиты r_x на высоте сооружения h_x , м		
Высота молниеотвода, h , м		
Радиус зоны стягивания, r_0 , м		

Порядок выполнения задания

1. Получив задание, внести исходные данные в таблицу 4.5.

2. По классификации (приложения 1, 2, 3) определить категорию молниезащиты, класс взрывоопасной зоны, степень огнестойкости строительных конструкций, тип зоны защиты, если они не приведены в варианте задания.

3. По таблице 4.1 определить удельную плотность ударов молнии в землю.

4. Определить ожидаемое количество поражений молнией объекта в год и выбрать тип зоны защиты, если она не предопределена категорией молниезащиты.

5. Выбрать расстояние от объекта до опоры молниеотвода. При устройстве молниезащиты по I и III категориям расстояние от молниеотводов до защищаемого объекта (S_b) по воздуху и земле не нормируется. Расчет S_b для объектов I категории осуществляется исходя из сопротивления грунта, высоты объекта и конструкции заземлителей. Поскольку расчет заземлителей в задании не предусмотрен, то S_b для объектов I категории высотой до 30 м и при удельном сопротивлении грунта $100 < \rho \leq 1000$ Ом·м принимаем 4 м. Для зданий выше 30 м S_b увеличиваем на 1 м на каждые 10 м сверх 30 м.

6. Построить эскиз зон защиты заданного варианта молниезащиты. С учетом S_b и рационального расположения молниеотвода относительно габаритов здания нанести объект защиты на эскиз с указанием соответствующих символов и размеров. (При необходимости по данным задания и S_b рассчитывает r_x).

7. Произвести соответствующие расчеты неизвестных величин по закону подобия треугольников.

8. Сделать выводы по работе

5 Выбор средств защиты электроустановок от аварийных режимов

5.1 Методика выбора аппаратов защиты

Плавкие предохранители в сетях до 1кВ

Существует два типа плавких предохранителей:

- с большой тепловой инерцией (выдерживающие значительные кратковременные токовые перегрузки)
- безынерционные (имеющие ограниченную перегрузочную способность).

Плавкие предохранители с большой тепловой инерцией

Это все установочные предохранители с винтовой резьбой и свинцовым токопроводящим мостиком (так называемые "пробки").

Номинальный ток предохранителя с большой тепловой инерцией определяется по формуле

$$I_B \geq I_{дл} ,$$

где:

I_B - номинальный ток предохранителя, А.

$I_{дл}$ - длительный расчетный ток линии, А.

Безынерционные плавкие предохранители

Это трубчатые предохранители с медным токопроводящим мостиком.

Данные предохранители должны удовлетворять двум условиям:

Во первых

$$I_B \geq I_{дл}$$

И одному из условий приведенных ниже.

Для защиты ответвления к одиночному электродвигателю с нечастыми пусками и длительностью пускового периода не более 2-2,5 сек. (электродвигатели металлообрабатывающих станков, вентиляторов, насосов и т. п.)

$$I_B \geq \frac{I_{п}}{2,5} ,$$

где:

$I_{п}$ - пусковой ток электродвигателя, А;

I_B - номинальный ток предохранителя, А.

Для защиты ответвления к одиночному электродвигателю с частыми пусками (электродвигатели кранов) или большой длительностью пускового пе-

риода (двигатели центрифуг, дробилок и т. п.)

$$I_B \geq \frac{I_{\Pi}}{1,6 \dots 2}$$

где:

I_{Π} - пусковой ток электродвигателя, А;

I_B - номинальный ток предохранителя, А.

Для защиты магистрали, питающей силовую или смешанную нагрузку,

$$I_B \geq \frac{I_{\text{КР}}}{2,5}$$

где:

$I_{\text{КР}}$ - кратковременный максимальный ток линии, А;

I_B - номинальный ток предохранителя, А (см. формулу 4-9).

$$I_{\text{КР}} = I'_{\Pi} + I'_{\text{дл}}$$

где:

I'_{Π} - пусковой ток электродвигателя или группы одновременно включаемых двигателей, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины, А;

$I'_{\text{дл}}$ - длительный расчетный ток линии до момента пуска электродвигателя (или группы двигателей), определяемый без учета рабочего тока пускаемого электродвигателя (или группы двигателей), А.

Для защиты электродвигателей ответственных механизмов предохранитель выбирается по формуле

$$I_B \geq \frac{I_{\Pi}}{1,6 \dots 2} ,$$

принимая знаменатель равным 1,6 независимо от условий пуска электродвигателя, если кратность тока к. з. удовлетворяет условиям, указанным в столбце 3, таблицы 5.1 (см. ниже).

Для защиты отвления к сварочному аппарату ток предохранителя выбирается по формуле

$$I_B \geq 1,2 I_{\text{н.св}} \sqrt{ПВ}$$

где:

$I_{\text{н.св}}$ - номинальный ток сварочного аппарата при номинальной продолжительности включения, А;

$ПВ$ - номинальная продолжительность включения аппарата, выраженная в долях единицы.

Также ток предохранителя в этом случае можно принимать равным длительно допустимому току на прокладываемый для питания сварочного аппарата провод.

Избирательность защиты плавкими предохранителями магистральной линии с ответвлениями обеспечивается последовательным увеличением величин плавких вставок на отдельных участках линии по мере приближения к пункту питания. При этом выбор величины плавких вставок производится по таблице 5.2 и таблице 5.3.

Таблица 5.1

Значения допустимой минимальной кратности тока КЗ по отношению к току коммутационного аппарата

Условия прокладки	Допустимая кратность тока к.з. по отношению:		
	к номинальному току плавкого предохранителя	к току уставки автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель	к номинальному току расцепителя автоматического выключателя с обратной зависимой от тока характеристикой
Сеть проложена в невзрывоопасном помещении при условии выполнения требований табл. 4	3	1,1 K_p	3
Сеть проложена в невзрывоопасном помещении при условии, что требования табл. 4 не выполняются	5	1,5	-
Сеть проложена во взрывоопасном помещении	4	1,1 K_p	6

Примечания:

K_p - коэффициент разброса характеристик автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем. Допускается принимать значение $K_p=1,4$ (для автоматических выключателей номинальным током до 100А) и $K_p=1,25$ (для автоматических выключателей номинальным током выше 100А).

Таблица 5.2

Условия избирательности плавких предохранителей для сетей особо
ответственного назначения

$I_k / I_{в.м.}$	10	20	50	100	150 и более
Плавкая вставка с номинальным током $I_{в.м.}$ меньшей величины, А	Плавкая вставка с номинальным током $I_{в.б.}$ большей величины, А				
30	50	60	120	150	200
40	60	80	120	200	200
50	80	100	120	250	250
60	100	120	150	250	250
80	120	120	200	250	250
100	120	120-150	250	250	250
120	150	200	300	300	300
150	200	250	300	300	300
200	250	300	400	400	400
250	300	400	600	>600	600
300	400	500	>600	-	-
400	600	600	-	-	-

Примечание: I_k - ток короткого замыкания

Таблица 5.3

Условия избирательности плавких предохранителей для сетей нормального
назначения

$I_k / I_{в.м.}$	10	20	50	100 и более
Плавкая вставка с номинальным током $I_{в.м.}$ меньшей величины, А	Плавкая вставка с номинальным током $I_{в.б.}$ большей величины, А			
30	40	50	80	120
40	50	60	100	120
50	60	80	120	120
60	80	100	120	120
80	100	120	120	150
100	120	120	150	150
120	150	150	250	250
150	200	200	250	250
200	250	250	300	300
250	300	300	400	>600
300	400	400	>600	-
400	500	>600	-	-

Примечание: I_k - ток короткого замыкания

Таблица 4

Минимальные кратности допустимых токовых нагрузок на провода и кабели по отношению к номинальным токам, токам трогания или токам уставки защитных аппаратов

Значение тока защитного аппарата I_z	Кратность допустимых длительных токов K_z			
	Сети, для которых защита от перегрузки обязательна			Сети, не требующие защиты от перегрузки
	Проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		Кабели с бумажной изоляцией	
	Взрыво- и пожароопасные помещения, жилые, торговые помещения и т.п.	Невзрыво- и непжароопасные производственные помещения промышленных предприятий		
Номинальный ток плавкого предохранителя	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (при наличии на автоматическом выключателе отсечки кратность тока ее не ограничивается)	1,0	1,0	0,8	0,66

Автоматические выключатели и магнитные пускатели

Для автоматических выключателей защита от перегрузки обеспечивается:

- тепловыми расцепителями, действующими с выдержками времени, обратно зависимыми от величины тока перегрузки
- электромагнитными расцепителями с выдержкой времени, достаточной для снижения пускового тока электродвигателя до нормального

Для магнитных пускателей защита от перегрузки обеспечивается тепловыми реле с нагревательными элементами.

Для защиты от КЗ применяются автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями мгновенного действия или с выдержкой времени, обеспечивающей избирательность действия.

Для обеспечения избирательности в системах электросетей, защищенных автоматическими выключателями, наименьшая выдержка времени устанавливается у электроприемника.

Автоматические выключатели позволяют обеспечить одновременную защиту линий от перегрузки и КЗ путем применения в их составе двух расцепителей.

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя выбирается только по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.т} \geq I_{дл}$$

где: $I_{н.т}$ - номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя, А

$I_{дл}$ - длительный расчетный ток линии, А

Номинальный ток нагревательного элемента теплового реле магнитного пускателя выбирается также по формуле

$$I_{н.т} \geq I_{дл}$$

Номинальный ток электромагнитного или комбинированного расцепителя автоматических выключателей выбирается по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.э} \geq I_{дл}$$

где: $I_{н.э}$ - номинальный ток электромагнитного расцепителя автоматического выключателя, А

$I_{дл}$ - длительный расчетный ток линии, А

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя автоматического выключателя проверять по формуле

$$I_{ср.э} \geq 1,25I_{кр}$$

Где: $I_{ср.э}$ - ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя автоматического выключателя, А

$I_{кр}$ - максимальный кратковременный ток линии, А

Ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой определять по формуле

$$I_{ср.р} \leq 1,25I_{дл}$$

где: $I_{ср.р}$ - ток срабатывания расцепителя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой, автоматического выключателя, А

$I_{дл}$ - длительный расчетный ток линии, А

5.2 Пример выбора аппаратов защиты и управления

Схема управления электроустановкой

Схема предусматривает защиту от коротких замыканий при помощи автоматического выключателя QF и предохранителей FU1 – FU3. От возможных перегрузок двигателя защищают тепловые реле КК1, КК2.

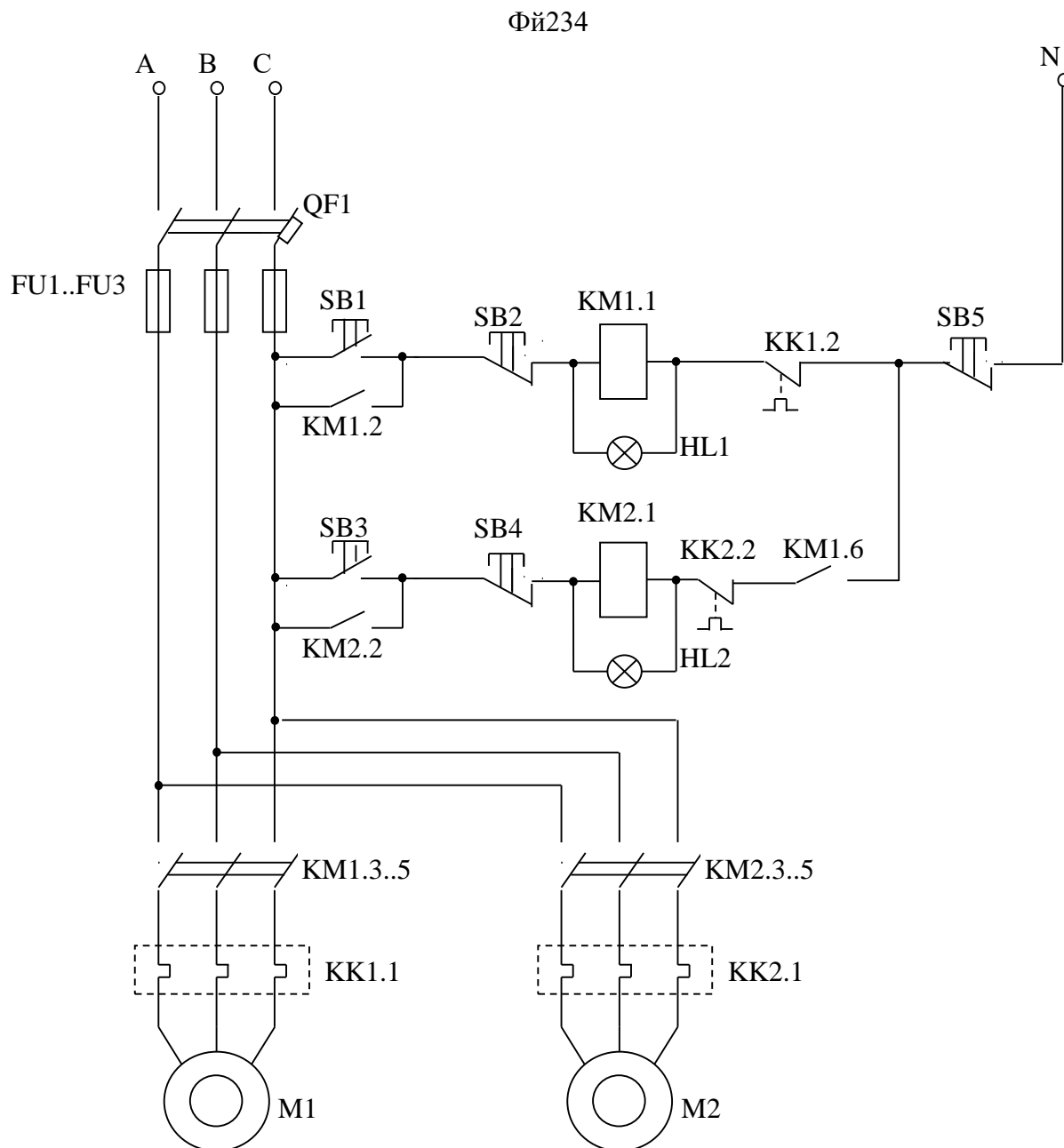


Рисунок 5.1. Схема управления

Пример выбора аппаратуры управления и защиты

Все выбираемые аппараты должны быть рассчитаны на рабочее напряжение не ниже 380 В.

Ток главных контактов магнитного пускателя должен быть не менее номинального тока двигателя. Номинальный ток двигателя

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \eta_n \cos \varphi},$$

Номинальный ток двигателя М1

$$I_n = 5500 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,83) = 12 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель ПМЕ-212 с номинальным током 25 А.

Номинальный ток двигателя М2

$$I_n = 2000 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,81 \cdot 0,75) = 5 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель ПМЕ-112 с номинальным током 10 А.

В цепи управления протекают токи не превышающие 1 А, поэтому выбираем кнопочные станции ПКЕ 022 с номинальным током 5А.

Номинальный ток теплового реле должен отличаться от номинального тока двигателя не более чем на 15% (пределы регулировки тока срабатывания используемого теплового реле). При наладке схемы ток теплового реле соответствующим регулятором устанавливается равным номинальному току двигателя.

Для двигателя М1 номинальный ток теплового реле должен находиться от $0,85 \cdot 12 = 10,2$ А до $1,15 \cdot 12 = 13,8$ А. Выбираем тепловое реле РТЛ-1016.

Аналогично для двигателя М2 выбираем тепловое реле РТЛ-1010.

При защите группы двигателей номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вс.}$ должен удовлетворять условию

$$I_{н.вс.} \geq \frac{I_{наиб}}{k},$$

где $I_{наиб}$ – наибольший ток схемы,

коэффициент $k = 2,5$ для обычного пуска длительностью менее 10 с.

В рассматриваемой схеме вначале производится запуск двигателя М1, затем пуск двигателя М2. Наибольшим током схемы будет пусковой ток М1, найденный ранее 72 А. Тогда

$$I_{н.вс.} \geq 72 / 2,5 = 28,8 \text{ А.}$$

Выбираем предохранитель ПР-2-60 с номинальным током 60 А и вставкой 35 А.

Автоматический выключатель выбираем из условия

$$I_y \geq I_p,$$

где I_y – ток уставки автоматического выключателя,
 I_p – рабочий ток установки.
 Рабочий ток установки

$$I_p = I_{H1} + I_{H2} = 12 + 5 = 17 \text{ А,}$$

где I_{H1} , I_{H2} – номинальный токи двигателей.

Выбираем автоматический выключатель А3160 с номинальный током 50 А, уставкой 25 А.

5.3 Контрольное задание

Для электродвигателя из таблицы согласно варианта и схемы приведенной выше в примере выберите аппараты защиты и управления. Двигатели М1 и М2 одинаковые. Характеристики выбираемых аппаратов приведены в приложении 4.

Вариант	Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\mu_k = M_k / M_H$	$\mu_{II} = M_{II} / M_H$	$\mu_{min} = M_{min} / M_H$	$K_I = I_H / I_H$	Момент инерции	Масса, кг
1	4А63В4У3	0,37	9	68	0,69	2,2	2	1,2	5	0,11	6
2	4А71А4У3	0,55	8,7	70,5	0,70	2,2	2	1,6	4,5	0,13	8,1
3	4А71В4У3	0,75	8,7	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5	0,14	9,4
4	4А80А4У3	1,1	6,7	75	0,81	2,2	2	1,6	5	0,32	11,9
5	4А80В4У3	1,5	6,7	77	0,83	2,2	2	1,6	5	0,33	13,8
6	4А90L4У3	2,2	5,4	80	0,83	2,2	2	1,6	6	0,56	18,1
7	4А100S4У3	3	5,3	82	0,83	2,2	2	1,6	6,5	0,87	23
8	4А100L4У3	4	5,3	84	0,84	2,2	2	1,6	6	1,12	29,2
9	4А112M4У3	5,5	5	85,5	0,86	2,2	2	1,6	7	1,66	38,5
10	4А132S4У3	7,5	3	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5	2,83	53,5
11	4А132M4У3	11	2,8	87,5	0,87	2,2	2	1,6	7,5	4	66,3

Литература

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО-153-34.21.122-2003). М.: Изд-во МЭИ, 2004. 57 с.
2. Карякин Р.Н. Справочник по молниезащите. М.: Энергосервис, 2005. 880 с.
3. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (34.21.122-87). М.: Энергоиздат, 1989. 56 с.
4. Электробезопасность: учеб. пособие / Е. Е. Привалов, А. В. Ефанов, С. С. Ястребов, В. А. Ярош. Ставрополь: СтГАУ, 2018. 168 с.
5. Менумеров Р.М. Электробезопасность: учеб. пособие. 4-е изд., стер. СПб.: Лань, 2020. 196 с.
6. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е., Лавров В.И. Основы энергетики, энергосбережения и электробезопасности. Брянск: Изд-во БГСХА, 2012.
7. Попов А. А. Производственная безопасность. СПб.: Лань, 2013.
8. Митрофанов, С. В. Правила устройства электроустановок и техника безопасности: учеб. пособие. Оренбург: ОГУ, 2018. 100 с.

Приложения

Приложение 1 Классификация объектов по категориям молниезащиты

№ п/п	Здания и сооружения	Местоположение молниезащиты	Категория	Тип зоны защиты
1	Здания и сооружения, которые согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) относятся к зонам классов В-I и В-II	На всей территории России	I	Зона А
2	Наружные установки, создающие согласно ПУЭ зону класса В-Iг	То же	II	Зона Б
3	Здания и сооружения, относящиеся согласно ПУЭ к зонам классов В-Iа, В-Iб, В-IIа.	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч/год и более	II	При ожидаемом количестве поражений в год: при $N > 1$ – зона А; при $N < 1$ – зона Б
4	Дымовые трубы, башни и вышки всех назначений высотой 15 м и более	То же	III	-
5	Здания и сооружения, относящиеся согласно ПУЭ к зонам классов П-I, П-II, П-IIа	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч/год и более	III	Для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости при $0,1 < N < 2$ и для III-V степеней огнестойкости при $0 < 0,2 < N < 0,2$ зона Б, при $N > 2$ зона А
6	Наружные установки и открытые склады, создающие согласно ПУЭ зону класса П-III	то же	III	При $0,1 < N < 2$ - зона Б При $N > 2$ – зона А
7	Здания и сооружения III, IIIа, IIIб, IV, V степеней огнестойкости, в которых отсутствуют помещения, относимые ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	то же	III	При $0,1 < N < 2$ - зона Б При $N > 2$ – зона А
8	Здания вычислительных центров	то же	II	Зона Б
9	Общественные здания различных назначений (медицинские, учебные и т.д.) III-V степеней огнестойкости	то же	III	Зона Б

Приложение 2

Классификация взрыво- и пожароопасных зон

ЗОНА КЛАССА В-I. Помещения, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси паров и газов с воздухом при нормальных условиях работы. Например, помещения, в которых производится слив ЛВЖ в открытые сосуды.

ЗОНА КЛАССА В-Ia. Помещения, в которых взрывоопасные смеси не образуются при нормальных условиях эксплуатации оборудования, но могут образовываться при авариях или неисправностях.

ЗОНА КЛАССА В-Iб. Помещения, в которых могут содержаться горючие пары и газы с высоким нижним пределом воспламенения (15 % и более), обладающие резким запахом (например, помещения аммиачных компрессоров); помещения, в которых возможно образование лишь локальных взрывоопасных смесей в объеме 5 % от объема помещения.

ЗОНА КЛАССА В-Iг. Наружные установки, в которых находятся взрывоопасные газы, пары и ЛВЖ (например, газгольдеры, сливноналивные эстакады и т.п.)

ЗОНА КЛАССА В-II. Помещения, в которых производится обработка горючих пылей и волокон, способных образовывать взрывоопасные смеси с воздухом при нормальных режимах работы (например, открытая загрузка и выгрузка из оборудования мелкодисперсных горючих материалов).

ЗОНА КЛАССА В-IIa. Помещения, в которых взрывоопасные паровоздушные и пылевоздушные смеси могут образовываться только в результате неисправностей и аварий (например, разгерметизация пневмотранспортирующего оборудования с применением азота).

Помещения и установки, в которых содержатся горючие жидкости и горючие пыли, нижний концентрационный предел воспламенения которых выше 65 г/м^3 , относят к пожароопасным и классифицируют следующим образом.

ЗОНА КЛАССА П-I. Помещения, в которых содержатся горючие жидкости (например, минеральные масла).

ЗОНА КЛАССА П-II. Помещения, в которых содержатся горючие пыли с нижним концентрационным пределом воспламенения выше 65 г/м^3 .

ЗОНА КЛАССА П-IIa. Помещения, в которых содержатся твердые горючие вещества, не способные переходить во взвешенное состояние.

УСТАНОВКИ (ЗОНА) КЛАССА П-III. Наружные установки, в которых содержатся горючие жидкости (с температурой вспышки выше $61 \text{ }^\circ\text{C}$) или твердые горючие вещества.

Приложение 3

Примерные конструктивные характеристики зданий в зависимости от их степени огнестойкости

Степень огнестойкости	Конструктивные характеристики
I	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов.
II	То же. В покрытиях зданий допускается применять незащищенные стальные конструкции.
III	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона. Для перекрытий допускается применение деревянных конструкций, защищенных штукатуркой или трудногорючими плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня; при этом элементы чердачного покрытия подвергаются огнезащитной обработке.
IIIа	Здания преимущественно с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса – из стальных незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции из стальных профилированных листов или других негорючих листовых материалов с трудногорючим утеплителем.
IIIб	Здания преимущественно одноэтажные с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса – из цельной или клееной древесины, подвергнутой огнезащитной обработке, обеспечивающей требуемый предел распространения огня. Ограждающие конструкции – из панелей или поэлементной сборки, выполненные с применением древесины или материалов на её основе. Древесина и другие горючие материалы ограждающих конструкций должны быть подвергнуты огнезащитной обработке или защищены от воздействия огня или высоких температур таким образом, чтобы обеспечить требуемый предел распространения огня.
IV	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из цельной или клееной древесины и других горючих или трудногорючих материалов, защищенных от воздействия огня и высоких температур штукатуркой или другими листовыми или плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня, при этом элементы чердачного покрытия из древесины подвергаются огнезащитной обработке.
IVа	Здания преимущественно одноэтажные с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса – из стальных незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции – из стальных профилированных листов или других негорючих материалов с горючим утеплителем.
V	Здания, к несущим и ограждающим конструкциям которых не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня.

Приложение 4

Характеристики аппаратов управления и защиты

Тепловые реле серии РТЛ

Тип реле	Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания, А
Номинальный ток 25 А	
РТЛ-1002	0,16...0,26
РТЛ-1003	0,24...0,40
РТЛ-1004	0,38...0,65
РТЛ-1005	0,61...1,00
РТЛ-1006	0,95...1,60
РТЛ-1007	1,50...2,60
РТЛ-1008	2,4...4,0
РТЛ-1010	3,8...6,0
РТЛ-1012	5,5...8,0
РТЛ-1014	7,0...10,0
РТЛ-1016	9,5...14,0
РТЛ-1021	13...19
РТЛ-1022	16...25

Магнитные пускатели серии ПМЕ

Тип	Номинальный ток А при напряжении 380/500 В	Габаритные размеры, мм	Наличие теплового реле
ПМЕ-001	3/1,5	75x65x119	Нет
ПМЕ-002	3/1,5	121x83x101	Есть
ПМЕ-111	10/6	68x65x84	Нет
ПМЕ-112	10/6	154x102x91	Есть
ПМЕ-211	25/14	102x90x116	Нет
ПМЕ-212	25/14	195x98x126	Есть
ПМЕ-311	40/21	214x114x144	Нет
ПМЕ-312	40/21	275x114x121	Есть
ПМЕ-411	63/35	290x183x135	Нет

Автоматические воздушные выключатели

Тип	Номинальный ток, А	Напряжение, В	Число полюсов	Ток уставки, А	Предельный ток отключения, кА		Время отключения, с	Габариты, мм
					Постоянный	переменный		
АС-25	25	220, 380	2, 3	1...20	1,252	0,3...2	-	73x90x109
АП-50	50	220, 380	2, 3	1,6...50	3,2	2	-	210x160x143
A3160	50	110, 220	1,2. 3	15...50	1.6..3,6	2,5..4,5	0,025	158x105x89
A3110	100	220	2,3	15...100	5	2,5...1 0	0,015	237x105x112
A3120	200	220	2.3	15...100	20	18	0,015	258x153x105
A3130	200	220	2,3	100..200	17...28	14...25	0,015	300x199x106
A3140	600	220	2.3	100..200	17...28	14...25	0,015	561x217x141
A3710	160...630	440, 660	2,3	250...600	25...50 110	32...40 40...60	0,03	225x500x190

Шкала номинальных токов расцепителей максимального тока имеет следующие ступени: 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 А.

Параметры предохранителей типа ПР-2

Тип	Номинальный ток, А	Номинальные токи плавких вставок, А	Предельный ток отключения при напряжении		Габаритные размеры, мм
			380 В	500 В	
ПР-2-15	15	6; 10; 15	8000	7000	171x24,5x33
ПР-2-60	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	4500	3500	173x30,5x43
ПР-2-100	100	60; 80; 100	-	-	247x43x56
ПР-2- 200	200	100; 125; 160:200	11000	10000	296x56x76.5
ПР-2-350	350	200; 225; 260; 300; 350	13000	11000	346x72x10
ПР-2-600	600	350; 430; 500; 600	23000	-	442x140x154
ПР-2-1000	1000	600; 700; 850; 1000	20000	20000	580x155x154

Учебное издание

Безик Валерий Александрович

Технические средства обеспечения безопасности

Методические указания по выполнению
практических работ по дисциплине
«Технические средства обеспечения безопасности
автоматизированных производств»

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 29.03.2021 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,37. Тираж 25 экз. Изд. № 6884.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ