**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**
**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Курганский государственный университет**

**Кафедра Экология и БЖД**

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания к выполнению
практических работ для студентов направлений
090303.65, 140400.62, 150700.62, 151900.62, 190100.62, 190109.65,
190110.65, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62, 222000.62,
231000.62, 280700.62

Курган 2012

Кафедра: «Экология и безопасность жизнедеятельности »

Дисциплины: «Безопасность и экологичность производственных процессов»
«Безопасность жизнедеятельности»

**Составили:** канд. техн. наук, доцент **А.И. Микуров**;
канд. биол. наук, доцент **В.А. Кривобокова**;
канд. техн. наук, доцент **С.К. Белякин**;
ст. преподаватель **Н.Г. Евтушенко**.

Работа выполнена при равноценном участии авторов.

Утверждены на заседании кафедры 22 декабря 2011г.

Рекомендованы методическим советом университета

« 28 » декабря 2011 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания ..... 4
Задача 1 Расчет защитного заземления ..... 5
Задача 2 Расчет защитного зануления ..... 11
Задача 3 Определение тяжести поражения электрическим током ..... 17
Задача 4 Оценка пожаровзрывоопасности помещения ..... 21
Задача 5 Расчет пылестружкоотсасывающего устройства ..... 26
Задача 6 Расчет виброизоляции ..... 28
Задача 7 Расчет вентиляции производственных помещений ..... 32
Список литературы ..... 36
Приложение А ..... 37

# ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*Цель выполнения практических работ* – овладеть методиками оценки и расчета эффективности работы коллективных средств защиты персонала предприятия от опасных и вредных производственных факторов.

Опасность - негативное свойство живой и неживой материи, способное причинить ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям. Оценить опасность возможно по уровню опасного и вредного производственного фактора (ОВПФ) [4].

Оценка безопасности процессов заключается в проверке соответствия требованиям безопасности следующих составляющих безопасности рабочего места [16]:

1 применяемых технологических процессов, а также приемов, режимов работы и порядка обслуживания производственного оборудования;
2 производственных помещений;
3 производственных площадок (для процессов, выполняемых вне производственных помещений);
4 исходных материалов, заготовок и полуфабрикатов;
5 производственного оборудования;
6 размещения производственного оборудования и организацией их мест;
7 определение функций между человеком и оборудованием для ограничения тяжести труда;
8 способов хранения и транспортирования исходных материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовой продукции и отходов производства;
9 профессиональным отбором и обучением работающих;
10 применением средств защиты работающих;
11 включением требований безопасности в нормативно-техническую и технологическую документацию.

В данных задачах рассматриваются вопросы безопасности производственного оборудования на рабочем месте и эффективности применения средств защиты работающих.

На практических занятиях студентам необходимо определить значение следующих опасностей: опасность поражения электротоком и тяжесть последствий данного инцидента (несчастного случая), пожаровзрывоопасности помещения, а также эффективность работы пылестружкоотсасывающего устройства, виброизоляторов, общеобменной вентиляции помещения, защитного зануления и контура защитного заземления (КЗЗ) электроустановки.

При расчетах пожаровзрывобезопасности помещения нужно определить, создастся ли в данном помещении (с учетом объема) концентрация вещества, превышающая взрывоопасный (пожароопасный) предел взрываемости. Расчет пылестружкоотсасывающего устройства и виброизоляторов связан с определением их конструктивных размеров и параметров работы оборудования. Расчет вентиляции помещения определяется для поддержания нормальных условий работы исходя из загазованности воздуха рабочей зоны не более 1ПДК$_{рз}$. Проводится также оценка теплоощущений человека при работах разной тяжести.

При выполнении заданий студентом дается оценка соответствия ОВПФ нормативным требованиям по безопасности труда (ГОСТ 12.2.003-91, 12.2.009-80, 12.2.072-98 и др.).

## Задача 1 Расчет защитного заземления

*Действие электротока на человека и виды электротравм*

Факторами опасного и вредного воздействия на человека, связанными с использованием электрической энергии, являются:

- протекание электрического тока через организм человека;
- воздействие электрической дуги;
- воздействие биологически активного электрического поля;
- воздействие биологически активного магнитного поля;
- воздействие электростатического поля;
- воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ).

В данной задаче будем рассматривать опасности, связанные с протеканием электрического тока через организм человека.

Опасные и вредные последствия для человека от воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического и магнитного полей, электростатического поля и ЭМИ проявляются в виде электрических ударов, электротравм. Степень воздействия зависит от экспозиции фактора, в том числе от рода и величины напряжения и тока, частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока или электрического и магнитного полей на организм человека, условий внешней среды.

Экспозиция – продолжительность действия опасного или вредного фактора.

*Электротравмы:*

- локальные поражения тканей (металлизация кожи, электрические знаки и ожоги);
- поражение органов (резкие сокращения мышц, фибрилляция сердца, электроофтальмия, электролиз крови) являются результатом воздействия электрического тока или электрической дуги на человека (электрический удар).

По степени воздействия на организм человека различаются четыре стадии электрического удара:

I – слабые, судорожные сокращения мышц;

II – судорожные сокращения мышц, потеря сознания;

III – потеря сознания, нарушение сердечной и дыхательной деятельности;

IV – клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Механические повреждения, явившиеся следствием воздействия опасных факторов, связанных с использованием электрической энергии (падение с высоты, ушибы), также могут быть отнесены к электротравмам. Кроме того, электрический ток вызывает непроизвольное сокращение мышц (судороги), которое затрудняет освобождение человека от контакта с токоведущими частями. Величины пороговых токов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - **Значения пороговых токов**

| Вид тока | Значения тока, *мА* | |
|---|---|---|
| | Переменного | Постоянного |
| 1 *Ощутимый* | 0,6 – 1,5 | 5-7 |
| 2 *Неотпускающий* | 10 - 15 | 50-60 |
| 3 *Фибрилляционный* | 100 | 300 |

Переменный ток промышленной частоты человек начинает ощущать при 0,6–15 *мА*. Ток 12–15 *мА* вызывает сильные боли в пальцах и кистях. Человек выдерживает такое состояние 5–10 с и может самостоятельно оторвать руки от электродов. Ток 20–25 *мА* вызывает очень сильную боль, руки парализуются, затрудняется дыхание; человек не может самостоятельно освободиться от электродов. При токе 50–80 *мА* наступает паралич дыхания, а при 90–100 мА - паралич сердца и смерть. Поэтому ток *100 мА* для человека является смертельно опасным.

Менее чувствительно человеческое тело к постоянному току. Его воздействие ощущается при 12–15 *мА*. Ток 20–25 *мА* вызывает незначительное сокращение мышц рук. Только при токе 90–110 *мА* наступает паралич дыхания. Самый опасный – переменный ток частотой 50–60 *Гц*. С увеличением частоты (начиная с 1000–2000 Гц) ток начинает распространяться по поверхности кожи, вызывает сильные ожоги, но не приводит к электрическому удару.

Величина тока, проходящего через тело человека, зависит от сопротивления тела и приложенного напряжения. Наибольшее сопротивление току оказывает верхний роговой слой кожи, лишенный нервов и кровеносных сосудов. При сухой неповрежденной коже сопротивление человеческого тела электрическому току равно 40–100 *кОм*. Роговой слой имеет незначительную толщину (0,05–0,2 мм) и при напряжении 250 *В* мгновенно пробивается. Повреждение рогового слоя уменьшает сопротивление человеческого тела до 0,8–1 *кОм*. Сопротивление уменьшается также с увеличением времени воздействия тока. Поэтому очень важно быстро устранить соприкосновение пострадавшего с токоведущими частями.

Исход поражения во многом зависит также от пути тока в теле человека. Наиболее опасны пути руки–ноги и рука–рука, когда наибольшая часть тока проходит через сердце.

На величину сопротивления, а следовательно, и на исход поражения электрическим током большое влияние оказывает физическое и психическое состояние человека. Повышенная потливость кожного покрова, переутомление, нервное возбуждение, опьянение приводят к резкому уменьшению сопротивления тела человека (до 0,8–1 *кОм*). Поэтому даже сравнительно небольшие напряжения могут привести к поражению электрическим током.

Нужно обязательно помнить, что человеческий организм поражает не напряжение, а величина тока. При неблагоприятных условиях даже низкие напряжения (30–40 *В*) могут быть травмоопасными. Если сопротивление тела человека 700 Ом, то опасным будет напряжение 35 *В*.

В расчетах принимается в качестве опасного ток 100 *мА* для переменного тока промышленной частоты.

Опасность (величина) напряжения прикосновения [12] зависит от времени воздействия и нормируется в зависимости от того, нормальный или аварийный режим работы сети (оборудования). Это обстоятельство учитывают при расчете контура защитного заземления (КЗЗ).

При появлении напряжения на токопроводящих частях (пробой фазы на корпус и т.д.) необходимо снизить потенциал напряжения до безопасных значений [12]. Фактически потенциал на оборудовании (напряжение прикосновения) будет определяться мощностью, необходимой для возврата тока на нейтраль трансформатора. Мощность определяется произведением напряжения и силы тока, величины которых связаны с сопротивлением КЗЗ.

Метод «коэффициентов использования» применяют для расчета сопротивления отдельных вертикальных и горизонтальных электродов. Сопротивления электродов складываются параллельно, а для учета взаимного влияния их полей вводятся коэффициенты использования. Таким образом, определяется сопротивление заземлителя в целом. Точность метода зависит от правильного применения этих коэффициентов. Значения их определялись многократно на моделях в электролитических ваннах и в земле для разных конфигураций.

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

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

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

В расчетах необходимо иметь сопротивление КЗЗ в пределах требований безопасности (таблица А1 приложения) [12].

***Исходные данные.*** Рассчитать заземляющее устройство трансформаторной подстанции, исходные данные приведены в таблице 2. Подстанция понижающая размещена в отдельном кирпичном здании, имеет два трансформатора с изолированной нейтралью на высокой стороне и с глухозаземленной нейтралью на низкой стороне (0,4 *кВ*). Предполагаемый контур искусственного заземлителя вокруг здания имеет форму прямоугольника.

В качестве естественного заземлителя будет использована металлическая технологическая конструкция, частично погруженная в землю; ее расчетное сопротивление растеканию принято равным $R_e$ с учетом сезонных изменений.

Таблица 2 - ***Исходные данные к решению задачи №1***

| № вар. | U, *кВ* | Контур заземлителя | | Re, *Ом* | $l_{кл}$, *м* | $l_{вл}$, *м* | $l_в$, *м* | d, *мм* | $L_т$, *м* | $t_0$, *м* | $\rho_{рв}$ *Ом м* | $\rho_{рг}$ *Ом м* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | длина, м | ширина, м | | | | | | | | | |
| 1 | 6 | 15 | 15 | 16 | 75 | 70 | 2,5 | 12 | 60 | 0,5 | 120 | 176 |
| 2 | 6 | 20 | 15 | 17 | 80 | 75 | 5 | 12 | 70 | 0,8 | 120 | 176 |
| 3 | 6 | 20 | 20 | 18 | 85 | 80 | 2,5 | 12 | 80 | 0,5 | 120 | 176 |
| 4 | 6 | 25 | 20 | 19 | 90 | 85 | 5 | 12 | 90 | 0,8 | 120 | 176 |
| 5 | 6 | 25 | 25 | 20 | 95 | 90 | 2,5 | 12 | 100 | 0,5 | 120 | 176 |
| 6 | 10 | 15 | 10 | 21 | 100 | 95 | 5 | 12 | 50 | 0,8 | 120 | 176 |
| 7 | 10 | 15 | 15 | 22 | 105 | 100 | 2,5 | 12 | 60 | 0,5 | 120 | 176 |
| 8 | 10 | 20 | 15 | 23 | 110 | 105 | 5 | 12 | 70 | 0,8 | 120 | 176 |
| 9 | 10 | 20 | 20 | 24 | 115 | 110 | 2,5 | 12 | 80 | 0,5 | 120 | 176 |
| 10 | 10 | 25 | 20 | 25 | 120 | 115 | 5 | 12 | 90 | 0,8 | 120 | 176 |
| 11 | 6 | 30 | 15 | 25 | 80 | 75 | 2,5 | 12 | 90 | 0,5 | 120 | 176 |
| 12 | 6 | 20 | 10 | 15 | 85 | 80 | 5 | 12 | 60 | 0,8 | 120 | 176 |
| 13 | 6 | 15 | 15 | 17 | 70 | 65 | 2,5 | 12 | 60 | 0,5 | 120 | 176 |
| 14 | 6 | 25 | 10 | 16 | 95 | 90 | 5 | 12 | 70 | 0,8 | 120 | 176 |
| 15 | 6 | 30 | 20 | 18 | 100 | 95 | 2,5 | 12 | 100 | 0,5 | 120 | 176 |
| 16 | 10 | 30 | 30 | 20 | 75 | 70 | 5 | 12 | 120 | 0,8 | 120 | 176 |
| 17 | 10 | 25 | 25 | 25 | 75 | 70 | 2,5 | 12 | 100 | 0,5 | 120 | 176 |
| 18 | 10 | 30 | 25 | 16 | 95 | 90 | 5 | 12 | 110 | 0,8 | 120 | 176 |
| 19 | 10 | 35 | 30 | 19 | 75 | 70 | 2,5 | 12 | 130 | 0,5 | 120 | 176 |
| 20 | 10 | 20 | 15 | 15 | 80 | 75 | 5 | 12 | 70 | 0,8 | 120 | 176 |

**Решение**

Проводим расчет заземляющего устройства в однородной земле методом коэффициентов использования по допустимому сопротивлению заземлителя растеканию тока [27].

Заземляющее устройство предполагается выполнить из вертикальных стержневых электродов длиной $l_в$ = 5 *м*, диаметром d = 12 *мм*, верхние концы которых соединяются с помощью горизонтального электрода - стальной полосы длиной $L_г$ = 50 *м*, сечением 4 х 40 *мм*, уложенной в землю на глубине $t_0$ = 0,8 *м*.

Расчетные удельные сопротивления грунта, полученные в результате измерений и расчета, равны:

- для вертикального электрода длиной 5 *м* $\rho_{рв}$ = 120 Ом·м;
- для горизонтального электрода сечением 4х40 мм $\rho_{рг}$ = 176 Ом·м.

Ток замыкания на землю неизвестен (сеть работает в нормальном режиме), поэтому определяем ток утечки с подходящей линии. По известной протяженность подходящих линий 6 *кВ* - кабельных $l_{кл}$ = 70 *км*, воздушных $l_{вл}$ = 65 *км* определяем расчетный ток утечки на землю:

$$I_з = \frac{U}{350}\left(35 * l_{кл} + l_{вл}\right) = \frac{6}{350}\left(35 * 70 + 65\right) = 43 A .$$

Требуемое сопротивление растеканию заземляющего устройства, которое

принимаем общим для установок 6 и 0,4 *кВ* (приложение А, таблица А1):

$$R_3 = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{43} = 2{,}9 Ом.$$

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_и = \frac{R_е R_3}{R_е - R_3} = \frac{15*2{,}9}{15-2{,}9} = 3{,}6 Ом.$$

Тип заземлителя выбираем контурный, размещенный по периметру прямоугольника длиной 15м и шириной 10м вокруг здания подстанции. Вертикальные электроды размещаем на расстоянии а = 5 *м* один от другого.

Из предварительной схемы следует, что в принятом нами заземлителе суммарная длина горизонтального электрода $L_г$ = 50*м*, а количество вертикальных электродов n = $L_г$ /а = 50/5 = 10шт. (рисунок 1а).

Уточняем параметры заземлителя путем проверочного расчета.

Определяем расчетное сопротивление растеканию вертикального электрода:

$$R_в = \frac{\rho_{рв}}{2\pi * l_в}\left(\ln\frac{2l_в}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l_в}{4t - l_в}\right) = \frac{120}{2\pi * 5}\left(\ln\frac{2*5}{0{,}012} + \frac{1}{2}\ln\frac{4*3{,}3+5}{4*3{,}3-5}\right) = 27{,}2 Ом,$$

где d = 12 *мм* = 0,012 *м* - диаметр электрода,

t = $t_0$+0,5*$l_в$=0,8+0,5*5=3,3 *м*.

Определяем расчетное сопротивление растеканию горизонтального электрода:

$$R_Г = \frac{\rho_{рг}}{2\pi * l_г}\ln\frac{L_г^2}{0{,}5Bt} = \frac{176}{2\pi 50}\ln\frac{50^2}{0{,}5*0{,}04*0{,}8} = 6{,}7 Ом,$$

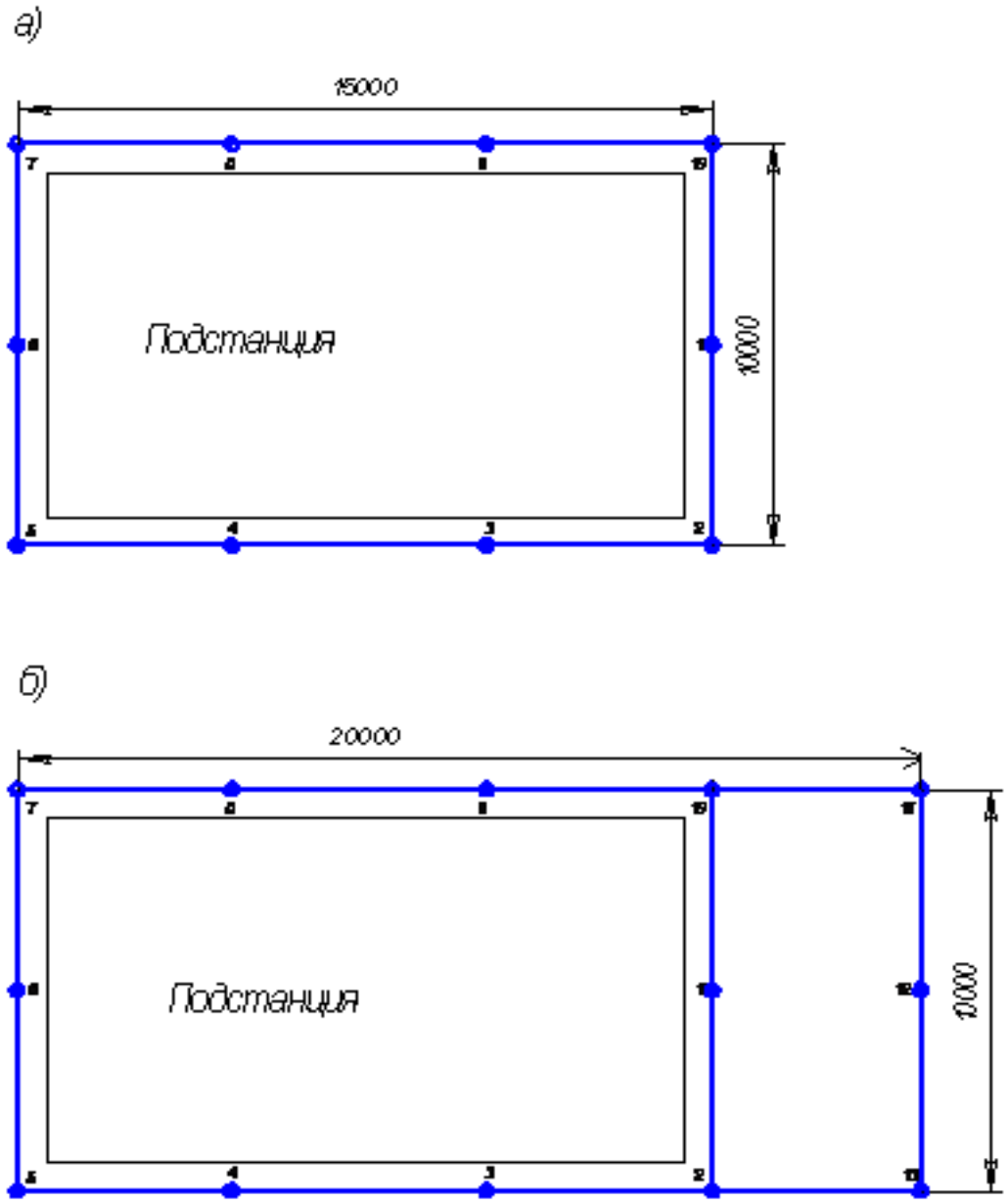
где В - ширина полки уголка, В = 40 мм = 0,04 *м*,

t - глубина заложения электрода, t = $t_0$ = 0,8 *м*.

Определяем коэффициенты использования электродов заземлителя для принятого нами контурного заземлителя при отношении а/$l_в$= 5/5=1 и n=10шт. по таблице А3 приложения: $\eta_в$ = 0,56 - коэффициент использования вертикальных электродов, $\eta_г$ = 0,34 - коэффициент использования горизонтального электрода.

Находим сопротивление растеканию принятого нами группового заземлителя:

$$R = \frac{R_в R_г}{R_в \eta_г + R_г \eta_в n} = \frac{27{,}2*6{,}7}{27{,}2*0{,}34 + 6{,}7*0{,}56*10} = 3{,}9 Ом.$$




*а) предварительная (n = 10 шт., a = 5 м., $L_Г$ = 50 м);*
*б) окончательная (n = 13 шт., a = 5 м., $L_Г$ = 70 м)*
*Рисунок 1 - Схемы контурных искусственных заземлителей подстанции*

Это сопротивление R = 3,9 *Ом* больше, чем требуемое Rи = 3,6 *Ом*, поэтому принимаем решение увеличить в контуре заземлителя количество вертикальных электродов до n = 13 шт.

Затем для прежнего отношения $a/l_в = 1$ и вновь принятого количества вертикальных электродов n = 13 шт. по таблице А3 приложения находим новые значения коэффициентов использования электродов заземлителя: вертикальных $\eta_в = 0{,}53$ и горизонтального $\eta_г = 0{,}32$.

Находим новое значение сопротивления растеканию тока группового заземлителя:

$$R=\frac{R_в R_г}{R_в \eta_г + R_г * n * \eta_в}=\frac{27{,}2*6{,}7}{27{,}2*0{,}32+6{,}7*13*0{,}53}=3{,}32 Ом.$$

Это сопротивление R = 3,32 Ом меньше требуемого $R_и$ = 3,6 *Ом*, но так как разница между ними невелика $R_и$ – R = 0,28 *Ом* и она повышает условия безопасности, принимаем этот результат как окончательный.

Итак, окончательная схема контурного группового заземлителя состоит из 13 вертикальных стержневых электродов длиной 5 *м* диаметром 12 *мм* с расстоянием между ними равным 5 *м* и горизонтального электрода в виде стальной полосы длиной 70 м сечением 4 х 40 *мм*, заглубленных в землю на 0,8*м* (рисунок 1б).

*Вопросы для защиты работы*

1 Определение нейтрали трансформатора.
2 Режимы работы нейтрали в электрических сетях.
3 Нормированные сопротивления КЗЗ.
4 Виды и величины пороговых токов.
5 Алгоритм метода «коэффициентов использования» для расчета КЗЗ.
6 Факторы, определяющие сопротивление КЗЗ.

## Задача 2 Расчет защитного зануления

*Защитное зануление* – это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей оборудования электроустановок с глухозаземленной нейтралью генератора (трансформатора) в сетях трехфазного тока или с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, или с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности. Для соединения открытых проводящих частей потребителя электроэнергии с глухозаземленной нейтральной точкой источника используется нулевой защитный проводник.

Нулевой защитный проводник (**PE** – проводник) следует отличать от нулевого рабочего (**N** – проводник) и совмещенного (**PEN** –проводник) проводников.

*Нулевым защитным проводником* (**PE** – проводник в системе **TN – S**) называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземленной нейтральной точкой источника питания трехфазного тока или с заземленным выводом источника питания однофазного тока, или с заземленной средней точкой источника питания в сетях постоянного тока.

*Нулевой рабочий проводник* (**N** – проводник в системе **TN – S**) – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтральной точкой генератора (трансформатора) в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

*Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник* (**PEN** – проводник в системе **TN – C**) – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника.

Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Области применения защитного зануления:

1 электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (система **TN – S**; обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);

2 электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;

3 электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

*Принцип действия зануления* (рисунок 2). При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания (КЗ) вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

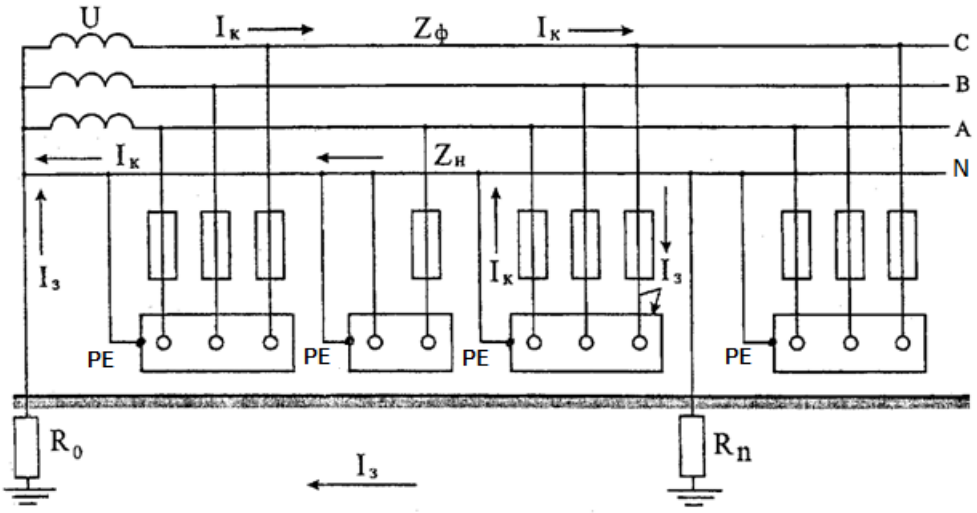



*Рисунок 2 – Принципиальная схема защитного зануления*

Сопротивление цепи «фаза-нуль» $\underline{Z}_{\Phi} + \underline{Z}_{H}$ выражается комплексными величинами. Это объясняется тем, что при протекании больших токов необходимо учитывать индуктивную составляющую сопротивления проводников.

При надлежащем выполнении зануления $I_K$ должен превышать $I_{ср}$ и тем самым обеспечивать срабатывание максимальной токовой защиты и безопасность лиц, имеющих контакт с зануленным электрооборудованием. Быстродействие защиты определяется кратностью отношения $I_K / I_{ср}$ .

Зануление не только ограничивает время воздействия тока на организм че-

ловека при возникновении условия поражения, но и снижает напряжение прикосновения [18]. Причем это снижение можно планировать нормированием параметров сети.

При обрыве нулевого проводника система зануления превращается в систему заземления, поэтому опасность поражения при прикосновении к одному из корпусов за местом обрыва можно определить по выражению:

$$I_h = \frac{U_ф \cdot R_З}{R_h \cdot (R_0 + R_З)}.$$

Основные принципиальные *недостатки зануления*:

- зануление не обеспечивает безопасность при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям электроустановки;
- нулевой защитный проводник обеспечивает вынос потенциала (даже при отсутствии замыкания на корпус) на все зануленные электропотребители, что представляет опасность поражения и создает помехи для радиоэлектронного оборудования;
- в сети с занулением нельзя использовать заземление отдельных электропотребителей (без соединения их с нулевым защитным проводником), так как при замыкании на заземленный корпус зануленные электропотребители оказываются под опасным напряжением в течение длительного времени;
- одновременное прикосновение к токоведущим частям электроустановки и ее зануленному корпусу представляет большую опасность;
- одновременное прикосновение к незануленному и зануленному электрооборудованию также представляет значительную опасность;
- ошибки при монтаже и подключении электропотребителя могут привести к тому, что его корпус окажется непосредственно подключенным к фазе через нулевой защитный проводник;
- перегорание одного предохранителя при замыкании на корпус не обеспечивает полного отключения от сети трехфазного электропотребителя;
- токи короткого замыкания, токи утечки, искры при замыкании на корпус, перегревы трехфазных электропотребителей при работе на двух фазах, обусловленные наличием зануления, представляют пожарную опасность;
- трудности выполнения требований ПУЭ к занулению в протяженных сетях и при занулении мощных электропотребителей;
- трудности контроля целостности цепи зануления.

Поэтому необходимо знать условия применения и средства *обеспечения эффективного действия зануления.*

Надежное отключение поврежденного участка считается обеспеченным, если ток однофазного КЗ $I_К$ отвечает условию:

$$I_К \geq К \cdot I_{ном},$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток уставки расцепителя автоматического выключателя;

К — коэффициент, зависящий от устройства защиты (предохранители, автоматический выключатель) и определяемый по требуемой кратности превы-

шения номинального тока в цепи.

При выполнении зануления проводники цепи «фаза-нуль» должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании на корпус возникал ток короткого замыкания, превышающий: для расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) - номинальный ток, для ближайшего предохранителя - в 3 и более раза номинальный ток плавкой вставки, для расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику - в 1,25 и более раза номинальный ток, для автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку) в 4,5 и более раза [23, п. 3.1.9.].

Основное отличие защитного зануления от защитного заземления - наличие металлической связи токопроводящих корпусов оборудования с нейтралью трансформатора.

Условие надежной защиты занулением – превышение тока короткого замыкания на корпус оборудования над током срабатывания защитных устройств.

***Исходные данные.*** Проверить, обеспечена ли отключающая способность зануления в сети, (рисунок 3, исходные данные к решению задачи принять по таблице 3), при нулевом защитном проводнике - стальной полосе сечением 40х4 мм. Линия 380/220 В с медными проводами 3х25 мм$^2$ питается от трансформатора 400 кВА, 6/0.4 кВ со схемой соединения обмоток «треугольник - звезда с нулевым проводом» ($\Delta / Y_H$). Двигатели защищены предохранителями $I_{1ном}$ = 125А (двигатель 1) и $I_{2ном}$ =80А (двигатель 2). Коэффициент кратности тока К=3 (защита двигателей предохранителями).

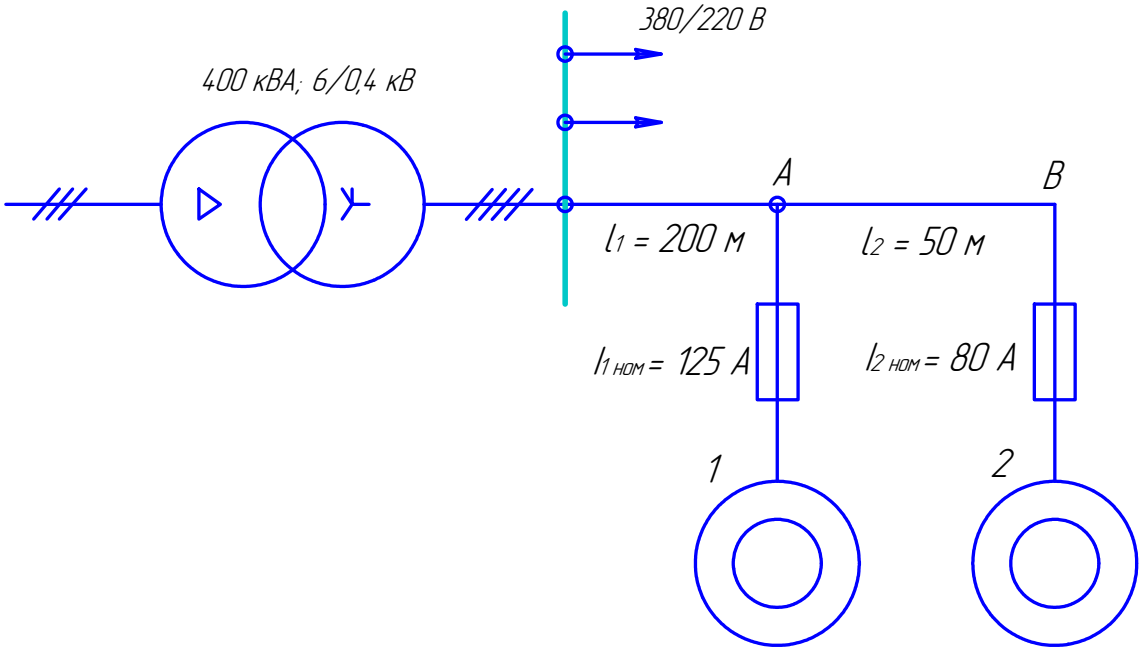



*Рисунок 3 - Схема сети к расчёту защитного зануления*

Таблица 3 - ***Исходные данные к решению задачи №2***

| № варианта | Размеры сечения стальной полосы (нулевого провода) | Напряжение линии, В | Длина участков линии | | Площадь сечения медных фазных проводов, *мм*$^2$ | Трансформатор | | | Номинальные токи предохранителей | | Коэффициент кратности тока, К |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $l_1$, *м* | $l_2$, *м* | | Мощность, *кВА* | Напряжение, *кВ* | Схема соединения обмоток | Двиг. 1, *А* | Двиг. 2 *А* | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 50x4 | 380/220 | 210 | 60 | 3x50 | 630 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 195 | 125 | 1,25 |
| 2 | 50x5 | 380/220 | 220 | 70 | 3x50 | 1000 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 300 | 150 | 1,25 |
| 3 | 60x5 | 380/220 | 230 | 80 | 3x100 | 1600 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 370 | 250 | 1,25 |
| 4 | 20x4 | 380/220 | 240 | 90 | 3x2,5 | 25 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 8 | 5 | 3 |
| 5 | 20x4 | 380/220 | 150 | 100 | 3x2,5 | 40 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 12 | 8 | 3 |
| 6 | 30x4 | 380/220 | 260 | 110 | 3x5 | 65 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 20 | 12 | 3 |
| 7 | 30x4 | 380/220 | 270 | 120 | 3x6 | 100 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 30 | 20 | 3 |
| 8 | 30x5 | 380/220 | 280 | 130 | 3x10 | 160 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 50 | 30 | 3 |
| 9 | 40x4 | 380/220 | 290 | 140 | 3x25 | 250 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 80 | 50 | 3 |
| 10 | 40x4 | 230/127 | 300 | 150 | 3x25 | 400 | 6/0,23 | $Y/Y_н$ | 100 | 75 | 3 |
| 11 | 40x4 | 380/220 | 240 | 90 | 3x50 | 250 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 300 | 200 | 1,25 |
| 12 | 40x4 | 380/220 | 200 | 70 | 3x25 | 400 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 195 | 125 | 1,25 |
| 13 | 40x4 | 380/220 | 270 | 110 | 3x25 | 400 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 120 | 75 | 1,25 |
| 14 | 40x4 | 380/220 | 260 | 100 | 3x25 | 250 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 70 | 40 | 3 |
| 15 | 30x5 | 380/220 | 250 | 100 | 3x10 | 160 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 40 | 20 | 3 |
| 16 | 20x4 | 380/220 | 220 | 80 | 3x2,5 | 25 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 10 | 7 | 3 |
| 17 | 60x5 | 380/220 | 200 | 70 | 3x100 | 1600 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 370 | 240 | 1,25 |
| 18 | 50x5 | 380/220 | 300 | 130 | 3x50 | 1000 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 200 | 100 | 1,25 |
| 19 | 30x4 | 380/220 | 250 | 140 | 3x6 | 100 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 40 | 20 | 3 |
| 20 | 30x5 | 380/220 | 220 | 100 | 3x10 | 160 | 6/0,4 | $\Delta/Y_н$ | 60 | 30 | 3 |

**Решение**

Решение сводится к проверке условия:

$$I_к \geq I_д ,$$

где $I_к$ - ток однофазного короткого замыкания, проходящий по петле «фаза-нуль»;

$I_д = К\ I_{ном}$ - наименьший допустимый ток по условию срабатывания защиты (предохранителя);

$I_{ном}$ - номинальный ток плавкой вставки предохранителя.

Выполнение этого условия обеспечит надежное срабатывание защиты при коротком замыкании (КЗ) фазы на зануленный корпус электродвигателя,

т.е. соединенный нулевым защитным проводником с глухозаземленной нейтральной точкой трансформатора.

1 Определяем наименьшие допустимые значения токов для двигателей 1 и 2:

$I_{1д} = К\ I_{1ном} = 3*\ 125 = 375\ А$;

$I_{2д} = К\ I_{2ном} = 3*80 = 240\ А$.

2 Находим полное сопротивление трансформатора из таблицы А4 приложения:

$Z_т = 0{,}056\ Ом$

3 Определяем на участке $l_1 = 200\ м = 0{,}2\ км$ активное $R_{1ф}$ и индуктивное $X_{1ф}$ сопротивления фазного провода, активное $R_{1нз}$ и индуктивное $X_{1из}$ сопротивления нулевого защитного провода и внешнее индуктивное сопротивление $X_{1п}$ петли фаза-нуль:

$$R_{1ф} = \rho \frac{l_1}{S_1} = 0{,}018\ \frac{200}{25} = 0{,}144\ Ом,$$

где $\rho = 0{,}018$ Ом*$мм^2/м$ - удельное сопротивление медного провода,

$S_1 = 25\ мм^2$ - сечение фазного провода.

Принимаем для фазного медного провода $X_{1ф}=0$ по рекомендации [18, 238].

Находим ожидаемую плотность тока в нулевом защитном проводе - стальной полосе сечением:

$$S_2 = 40x4 = 160 мм^2; \quad j_1 = \frac{I_{1Д}}{S_2} = \frac{375}{160} \approx 2\ А/мм^2.$$

По таблице 5 приложения для $j_1=2\ А/мм^2$ и $S_2 = 40x4 = 160\ мм^2$ находим:

$r_{1\omega} = 1{,}54\ Ом/км$ - активное сопротивление 1 км стального провода,

$X_{1\omega} = 0{,}92\ Ом/км$ внутреннее индуктивное сопротивление 1 км стального провода.

Далее находим $R_{1нз}$ и $X_{1нз}$ для $l_1 = 200\ м = 0{,}2\ км$:

$R_{1нз} = r_{1\omega}\, l_1 = 1{,}54x0{,}2 = 0{,}308\ Ом$;

$X_{1нз} = X_{1\omega}\, l_1 = 0{,}92x0{,}2 = 0{,}184\ Ом$.

Определяем $X_{1п}$ для $l_1 = 200\ м = 0{,}2\ км$: $X_{1п} = x_{1п}\, l_1 = 0{,}6 \text{ x } 0{,}2 = 0{,}12\ Ом$.

$X_{1п} = 0{,}6\ Ом/км$ - внешнее индуктивное сопротивление 1 км петли фаза-нуль, величина которого принята по рекомендации [18, С. 240].

4 Определяем на всей длине линии $l_{12} = l_1 + l_2 = 200 + 50 = 250м = 0{,}25$ км активное $R_{12ф}$ и индуктивное $X_{12ф}$ сопротивления фазного провода, активное $R_{12ф}$ и индуктивное $X_{12ф}$ сопротивления нулевого защитного провода и внешнее индуктивное сопротивление $X_{12п}$ петли фаза-нуль:

$$R_{12ф} = \rho \frac{l_{12}}{S_1} = 0{,}018 \frac{250}{25} = 0{,}18\ Ом.$$

Аналогично предыдущему принимаем: $X_{12ф} = 0$.

Ожидаемая плотность тока в нулевом защитном проводе:

$$j_{12} = \frac{I_{2Д}}{S_2} = \frac{240}{160} = 1{,}5\ А/мм^2.$$

По таблице А5 для $j_{12} = 1{,}5\ А/мм^2$ и $S_2 = 40x4 = 160\ мм^2$ находим:

$r_{12\omega} = 1{,}81\ Ом/км$;

$x_{12\omega}$ = 1,09 *Ом/км*.

Далее находим $R_{12нз}$ и $X_{12нз}$ для $l_{12}$ = 250м = 0,25*км*.

$R_{12нз} = r_{12\omega}\, l_{12}$ = 1,81x0,25 = 0,452 *Ом*.

$X_{12нз} = x_{12\omega}\, l_{12}$ = 1,09x0,25 = 0,272 *Ом*.

Определяем $X_{12п}$ для $l_{12}$ = 0,25 *км*:

$X_{12п} = x_{1п}\, l_{12}$ = 0,6x0,25 = 0,15 *Ом*,

где $x_{1п}$ = 0,6 *Ом/км* принято по рекомендации [18, 240] как и в предыдущем случае.

5 Находим действительные значения токов однофазного короткого замыкания, проходящих по петле фаза-нуль по формуле [18, 235]:

$$I_к = \frac{U_ф}{Z_T/3 + \sqrt{(R_ф + R_{нз})^2 + (X_ф + X_{нз} + X_п)^2}}$$

для следующих случаев:

а) при замыкании фазы на корпус двигателя 1 (рисунок 2):

$$I_{1К} = \frac{220}{0{,}056/3 + \sqrt{(0{,}144 + 0{,}308)^2 + (0{,}184 + 0{,}12)^2}} = 390A;$$

б) при замыкании фазы на корпус двигателя 2:

$$I_{2К} = \frac{220}{0{,}056/3 + \sqrt{(0{,}18 + 0{,}452)^2 + (0{,}272 + 0{,}15)^2}} = 282A.$$

Поскольку действительные значения токов однофазного коронного замыкания $I_{1к}$ =390 *А* и $I_{2к}$ =282 *А* превышают соответствующие наименьшие допустимые по условиям срабатывания защиты токи $I_{1Д}$ = 375 *А* и $I_{2Д}$ = 240 *А*, нулевой защищенный провод выбран правильно, т.е. отключающая способность системы зануления обеспечена.

*Вопросы для защиты работы*

1 Области применения защитного зануления.
2 Основные принципиальные недостатки защитного зануления.
3 Условие обеспечения электробезопасности применением зануления.
4 Принципиальная схема работы зануления.
5 Элементы защитного зануления, подлежащие расчету.
6 Составные части защитного зануления.
7 Назначение элементов защитного зануления.

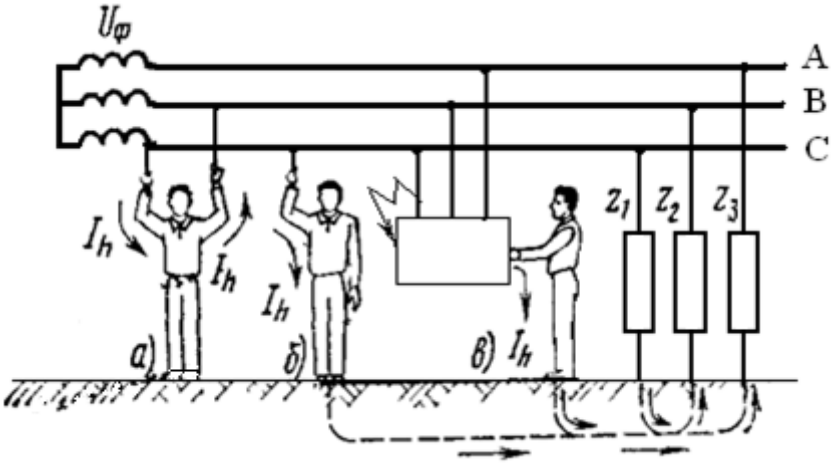
## Задача 3 Определение тяжести поражения электрическим током

Случаи поражения человека током возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая величиной тока, проходя-

щего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от величины емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Схемы включения человека в цепь могут быть различными. Однако наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя проводами и между одним проводом и землей (рисунок 4).




а - двухфазное, б, в – однофазные,
$Z_1$, $Z_2$, $Z_3$ полные сопротивления проводов относительно земли

Рисунок 4 – Случаи включения человека в электрическую цепь

Двухфазное включение, т.е. прикосновение человека одновременно к двум фазам, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение - линейное, и поэтому через человека пойдет больший ток:

$$I_h = \frac{U_л}{R_h} = \frac{1{,}73U_ф}{R_h},$$

где $I_h$ - ток, проходящий через тело человека, *А*;
$U_л = \sqrt{3}U_ф$ - линейное напряжение, т. е. напряжение между фазными проводами сети, *В*;
$U_ф$ - фазное напряжение, т. е. напряжение между началом и концом одной обмотки (или между фазным проводом и нейтралью), *В*.

Согласно современным требованиям [23] сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль источника питания, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 *Ом* соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 *В* источника трехфазного тока. Общее сопротивление всех повторных заземлителей воздушной линии должно быть не более 5, 10 и 20 *Ом* соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 *В*, при этом сопротивление каждого из повторных заземлителей должно быть не более 15, 30 и 60 *Ом* соответственно при тех же напряжениях. Кроме того, при удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 *Ом·м* допускается увеличение указанных выше значений $R_0$ и $R_п$ в отношении ρ/100, но не более чем в 10 раз.

***Исходные данные.*** Человек случайно прикоснулся к электрической колодке (колодка не закрыта съемной крышкой), через которую подается напряжение на электрический двигатель. Двигатель питается от трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, сопротивление заземления нейтрали $R_o$ = 4 *Ом*, линейное напряжение $U_л$=380*В*, сопротивление исправной изоляции равно 0,5 *МОм*, сопротивление изоляции ухудшенного качества - 15 *кОм*. Принять сопротивление кожи поверхности тела человека 1000 Ом, сопротивление внутренних тканей организма 600 Ом, сопротивление обуви 200 *Ом*, сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног 125 *Ом*.

Определить (исходные данные к решению задачи в таблице 4):

1 Электрическое сопротивление тела человека.

2 Ток, проходящий через человека, при случайном касании: оголенного фазного зажима.

3 При замыкании человеком двух зажимов.

4 При прикосновении к проводу с исправной изоляцией.

5 При прикосновении к проводу с ухудшенной изоляцией.

Таблица 4 - ***Исходные данные к решению задачи №3***

| № вариан- | Сопротивление изоляции ухудшенного качества, кОм. | Сопротивление кожи поверхности тела человека, Ом | Сопротивление внутренних тканей организма, Ом | Сопротивление обуви, Ом | Сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног, Ом |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15 | 950 | 550 | 150 | 125 |
| 2 | 20 | 900 | 650 | 250 | 200 |
| 3 | 25 | 800 | 500 | 300 | 300 |
| 4 | 30 | 1100 | 550 | 350 | 400 |
| 5 | 35 | 1000 | 600 | 400 | 500 |
| 6 | 40 | 900 | 650 | 350 | 400 |
| 7 | 45 | 800 | 600 | 300 | 300 |
| 8 | 50 | 700 | 550 | 250 | 200 |
| 9 | 55 | 800 | 500 | 200 | 150 |
| 10 | 60 | 900 | 550 | 150 | 125 |
| 11 | 65 | 800 | 500 | 150 | 125 |
| 12 | 70 | 700 | 600 | 200 | 150 |
| 13 | 15 | 900 | 600 | 200 | 125 |
| 14 | 20 | 1000 | 650 | 200 | 125 |
| 15 | 25 | 900 | 650 | 300 | 300 |
| 16 | 30 | 800 | 550 | 350 | 400 |
| 17 | 35 | 700 | 550 | 200 | 150 |
| 18 | 40 | 900 | 600 | 250 | 250 |
| 19 | 45 | 700 | 600 | 300 | 300 |
| 20 | 50 | 800 | 550 | 200 | 150 |

**Решение**

Перечисленные варианты прикосновения могут привести к производственному электротравматизму.

1 Найдем общее сопротивление человека при протекании тока по контуру рука-нога. Схема замещения сопротивления тела человека для случая протекания тока по контуру рука - нога показана на рисунке 5.

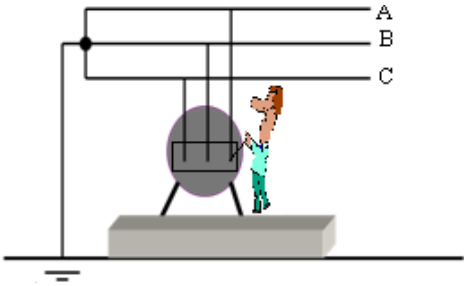
Величины этих сопротивлений изменяются в широких пределах. Например, $R_k$, $R_p$ сильно зависят от влажности: $R_p$ составляет 200 - 300 *Ом*, если кожа влажная (при решении задач $R_p$ принимать = 300 *Ом*), и десятки тысяч *Ом* при сухом состоянии кожи.

Сопротивление внутренних тканей организма составляет 500—1000 *Ом*.

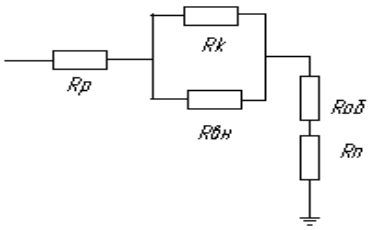
Сопротивление параллельной цепочки $R_k$ , $R_{вн}$ равно:

$$R_1 = \frac{R_k \cdot R_{вн}}{R_k + R_{вн}} = \frac{1000 \cdot 600}{1000 + 600} = 375 Ом .$$

Сопротивление пола зависит от его материала, влажности, наличия загрязнений. Так, сопротивление бетонного пола $R_п$ на площади, равной поверхности ступней ног, составляет сухого - 2 *МОм*, сырого - 200 *Ом*, покрытого водой со щелочью - 10 *Ом*.




а)




б)

*$R_p$ – сопротивление кожи на руке в месте контакта;*

*$R_k$ – сопротивление кожи поверхности тела;*

*$R_{вн}$ – сопротивление внутренних тканей организма;*

*$R_{об}$ – сопротивление обуви;*

*$R_п$ – сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног.*

*Рисунок 5 – Схемы прикосновения (а) и замещения сопротивления человека (б)*

Сопротивление обуви зависит от ее вида (резиновая, кожаная, кожимитовая), влажности и приложенного напряжения. Ориентировочно можно считать, что сопротивление сухой обуви $R_{об}$ лежит в пределах от 100 до 500 *Ом*, сырой—от 0,5 до 1,5 *Ом*.

При указанных величинах сопротивлений наименьшая величина общего сопротивления человека составит:

Рука-нога-пол: $R_ч = R_p + R_1 + R_{об} + R_п = 300 + 375 + 200 + 125 = 1000 \quad Ом$ .

Рука-рука: $R_ч = R_p + R_1 + R_p = 300 + 375 + 300 = 975 \quad Ом$ .

Однако в реальных условиях сопротивление может быть и меньшей величины. Правда, при благоприятном стечении обстоятельств сопротивление чело-

века может достигнуть величины 40000—100000 *Ом*.

2 При случайном касании оголенного фазного зажима человек попадает под фазное напряжение и сила тока, проходящего через него, равна:

$$I_ч = \frac{U_ф}{R_ч} = \frac{220}{1000} = 0{,}22A.$$

Ток такой величины безопасен, если время его протекания через человека не более 0,2 *с* (такую быстроту отключения может обеспечить автоматическая защита). При длительном воздействии такой ток смертелен. Самостоятельное освобождение от воздействия такого тока исключено.

3 При замыкании двух зажимов человек попадает под линейное напряжение и сила тока, проходящего через человека, составит:

$$I_ч = \frac{U_л}{R_ч} = \frac{380}{975} = 0{,}39A.$$

Ток такой величины представляет смертельную опасность.

4 При прикосновении к проводу с исправной изоляцией:

$$I_ч = \frac{U_ф}{R_ч + R_{из}} = \frac{220}{1000 + 500000} = 0{,}44 \cdot 10^{-3} A.$$

По данным таблицы 6 приложения, переменный ток менее 0,0005 *А* не ощущается.

5 При прикосновении к проводу с ухудшенной изоляцией:

$$I_ч = \frac{U_ф}{R_ч + R_{из}} = \frac{220}{1000 + 15000} = 14 \cdot 10^{-3} \ A.$$

Переменный ток такой величины представляет безусловную опасность, тем более, что с течением времени сопротивление человека уменьшается и опасность смертельного поражения возрастает.

*Вопросы для защиты задачи*

1 Принцип действия защитного заземления.
2 Принцип действия и область применения защитного заземления.
3 Что такое аварийный режим работы сети?
4 Фактор, определяющий опасность поражения человека электротоком.
5 Что такое напряжение прикосновения?
6 Условие поражения человека электротоком.

## Задача 4 Оценка пожаровзрывоопасности помещения

*Горением* называется быстро протекающее химическое превращение, сопровождающееся выделением тепла и света. При горении происходит превращение твердого или жидкого горючего вещества в газообразное состояние. *Пожар* - неконтролируемое горение, приводящее к ущербу. *Взрыв* - быстрое экзотермическое химическое превращение взрывоопасной среды, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных проводить работу.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории: 1) повышенная взрывопожароопасность (А); 2) взрывопожароопасность (Б); 3) пожароопасность (В1 - В4); 4) умеренная пожароопасность (Г); 5) пониженная пожароопасность (Д).

К категории А относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°*С*. К категории Б относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°*С*. К категориям $В_1$ - $В_4$ относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть. К категории Г относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива. К категории Д относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

*К опасным факторам пожара*, воздействующим на людей и имущество, относятся: 1) пламя и искры; 2) тепловой поток; 3) повышенная температура окружающей среды; 4) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; 5) пониженная концентрация кислорода; 6) снижение видимости в дыму.

Исключение условий возникновения пожаров достигается исключением условий образования горючей среды и (или) исключением условий образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания.

*Исключение условий образования горючей среды* должно обеспечиваться одним или несколькими из следующих способов: 1) применение негорючих веществ и материалов; 2) ограничение массы и (или) объема горючих веществ и материалов; 3) использование наиболее безопасных способов размещения горючих веществ и материалов, а также материалов, взаимодействие которых друг с другом приводит к образованию горючей среды; 4) изоляция горючей среды от источников зажигания (применение изолированных отсеков, камер, кабин); 5) поддержание безопасной концентрации в среде окислителя и (или) горючих веществ; 6) понижение концентрации окислителя в горючей среде в защищаемом объеме; 7) поддержание температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается; 8) механизация и автоматизация технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ; 9) установка пожароопасного оборудования в отдельных помещениях или на открытых площадках; 10) применение устройств защиты производственного оборудования, исключающих выход горючих веществ в объем помещения, или устройств, исключающих образование в помещении горючей среды; 11) удаление

из помещений технологического оборудования и коммуникаций пожароопасных отходов производства, отложений пыли, пуха.

*Исключение условий образования в горючей среде источников зажигания* должно достигаться одним или несколькими из следующих способов: 1) применение электрооборудования, соответствующего классу пожароопасной и (или) взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси; 2) применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения электроустановок и других устройств, приводящих к появлению источников зажигания; 3) применение оборудования и режимов проведения технологического процесса, исключающих образование статического электричества; 4) устройство молниезащиты зданий, сооружений, строений и оборудования; 5) поддержание безопасной температуры нагрева веществ, материалов и поверхностей, которые контактируют с горючей средой; 6) применение способов и устройств ограничения энергии искрового разряда в горючей среде до безопасных значений; 7) применение искробезопасного инструмента при работе с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими газами; 8) ликвидация условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов и изделий; 9) исключение контакта с воздухом пирофорных веществ; 10) применение устройств, исключающих возможность распространения пламени из одного объема в смежный.

*Нижний концентрационный предел распространения пламени* (предел воспламенения) – это такая объемная (массовая) доля горючего вещества в смеси с окислительной средой (выраженная в % или мг/м$^3$), ниже которой смесь становится неспособной к распространению пламени, т.е. это минимальное содержание горючего вещества в горючей смеси (вещество – окислитель), при котором возможно распространение пламени на любое расстояние от источника зажигания.

Противопожарные преграды в зависимости от способа предотвращения распространения опасных факторов пожара подразделяются на следующие типы: 1) противопожарные стены; 2) противопожарные перегородки; 3) противопожарные перекрытия; 4) противопожарные разрывы; 5) противопожарные занавесы, шторы и экраны; 6) противопожарные водяные завесы; 7) противопожарные минерализованные полосы.

При расчете необходимо сравнить расчетный объем взрывоопасных газов и заданный объем помещения, в котором произошел разлив бензина. Если расчетный объем меньше объема помещения, то опасности взрыва нет, рассматриваем помещение как пожароопасное.

***Исходные данные.*** На бетонный пол помещения объемом 10 м$^3$ за 5 секунд пролито 1,5 л бензина АИ-93 (ЛВЖ), образовалась лужа диаметром 1,5 м. Температура в помещении 20°*С*, атмосферное давление - 0,1 *МПа* (760 *мм. рт. ст.*). Скорость воздуха в помещении 0,1 *м/с*.

Определить время, необходимое для испарения бензина и образования взрывоопасной концентрации. Определить категорию помещения по пожаровзрывоопасности. Исходные данные к решению задачи принять из таблицы 5.

Таблица 5 - **Исходные данные к решению задачи**

| № варианта | Объем помещения, $м^3$ | Количество пролитого бензина, л | Диаметр поверхности испарения, м | Температура воздуха в помещении, °С |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 10 | 1,5 | 1,6 | 24 |
| 2 | 50 | 2 | 1,4 | 26 |
| 3 | 100 | 3 | 2 | 28 |
| 4 | 75 | 2,5 | 1,7 | 18 |
| 5 | 90 | 2 | 1,4 | 19 |
| 6 | 65 | 1,5 | 1,8 | 20 |
| 7 | 200 | 5 | 1,9 | 21 |
| 8 | 150 | 9 | 2 | 22 |
| 9 | 140 | 10 | 3,5 | 23 |
| 10 | 130 | 6 | 2,5 | 18 |
| 11 | 20 | 3 | 1,5 | 20 |
| 12 | 60 | 4 | 2 | 21 |
| 13 | 80 | 2,5 | 1,4 | 18 |
| 14 | 10 | 2 | 1,2 | 24 |
| 15 | 50 | 3 | 1,5 | 19 |
| 16 | 120 | 4 | 2,5 | 20 |
| 17 | 40 | 2 | 1,2 | 22 |
| 18 | 85 | 6 | 3,5 | 20 |
| 19 | 90 | 2,5 | 1,7 | 22 |
| 20 | 100 | 5 | 2 | 24 |

**Решение**

Интенсивность испарения бензина определяется по формуле:

$$W = 4rД_t \frac{M \cdot p_{нас}}{V_t \cdot p_{атм}},$$

где $r$ — радиус поверхности испарения жидкости, *см*;

$Д_t$ — коэффициент диффузии паров бензина, $см^2/с$;

$M = 96$ — молекулярный вес бензина,

$V_t$—объем грамм-молекулы паров бензина при температуре 20° С, л;

$p_{нас}$—давление насыщенного пара бензина, Па ($p_{нас}$ =0,014 *МПа*);

$p_{атм}$—атмосферное давление, *Па.*

Коэффициент диффузии паров бензина при определенной температуре рассчитывается по формуле:

$$Д_t = Д_o \frac{T + t}{T},$$

где $Д_o$ – коэффициент диффузии паров бензина при 0° и давлении 0,1 *МПа*, $см^2/с$.

$$Д_o = \frac{0,8}{\sqrt{M}} = \frac{0,8}{\sqrt{96}} = 0,082 см^2/с$$ , тогда $$Д_t = 0.082\frac{273+20}{273} = 0,088 см^2/с$$ .

Объем грамм-молекулы паров бензина при температуре *t* определяется по формуле:

$$V_t = \frac{V_o(t+T)}{T},$$

где $V_o$ = 22,4 *л* – объем грамм-молекулы паров при 0° и давлении 0,1 *МПа*. Тогда:

$$V_t = \frac{22.4(20+273)}{273} = 24,041 л = 24041 см^3 .$$

Тогда интенсивность испарения бензина:

$$W = 4 \cdot 75 \cdot 0,088\frac{96 \cdot 0,014}{24,041 \cdot 0,1} = 0,0148 \ г/с .$$

Продолжительность испарения 1,5 л бензина составит:

$$\tau = \frac{1000 \cdot 1,5 \cdot 0,73}{0,0148 \cdot 3600} = 20,6 \ ч ,$$

где 0,73 – плотность бензина.

Нижний предел взрываемости паров бензина по объему $К_{об}$=0,76%, что соответствует следующей весовой концентрации при t = 20°*С*:

$$K_{вес} = \frac{K_{об} \cdot M \cdot 10}{V_t} = \frac{0,76 \cdot 96 \cdot 10}{24,041} = 30,3 \ мг/л .$$

Расчетное время испарения t при определении массы паров ЛВЖ, поступивших в помещение, принимается равным времени полного испарения жидкости с рассматриваемой поверхности, но не более 3600 с [2]. Испарения 1,5*л* бензина, или 1095*г*, могут образовать взрывоопасную концентрацию в объеме 1095/30,3=36,1$м^3$ воздуха. Взрывоопасная концентрация в объеме 10$м^3$ воздуха может образоваться через Т=10*60/36,1=16,6 *мин*.

Определение избыточного давления взрыва в помещении для индивидуальных веществ и смесей ЛВЖ, (т.к. в задаче разлит бензин - легковоспламеняющаяся жидкость, нагретая ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля, то коэффициент участия горючего во взрыве Z= 0,3) производится по формуле, кПа:

$$\Delta P = 7990 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п \cdot C_{ст}},$$

где: *m* - масса паров ЛВЖ (ГЖ), поступивших в помещение в результате расчетной аварии, *m* = 1,095кг;

$V_{св}$ - свободный объем помещения, $м^3$ определяется как 0,8* $V_{помещ}$ =8 $м^3$;

$\rho_п$ - плотность пара, при расчетной температуре, $кг/м^3$, определяется по формуле:

$$\rho_п = \frac{M}{V_0 \cdot (1+\alpha \cdot t_p)},$$

где: $V_0$- объем кмоля газа при нормальных условиях, равный 22,413 *м³/кмоль*;
$t_р$ - расчетная температура, определяемая согласно условиям задачи, $t_р$ =20 °*С*;
α - коэффициент температурного расширения пара, равный 0,00124 *1/град* (°*С*).

$$\rho_п = 96/[22,413(1+0,00124*20)]= 4,28$$

$C_{ст}$ - стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % (об.), вычисляется по формуле:

$$C_{ст} = \frac{100}{1+4,84\cdot\beta},$$

где $\beta = n_c + \frac{n_н - n_x}{4} - \frac{n_0}{2}$ - стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания;

$n_c$, $n_н$, $n_0$, $n_x$ - число атомов углерода, водорода, кислорода и галоидов в молекуле индивидуального горючего вещества (смеси): $n_c$=6,911, $n_н$=1,168, $n_0$=0, $n_x$=0.

$$\beta = 6,911 + \frac{12,168-0}{4} - \frac{0}{2}=9,953.$$

$$C_{ст} =100/(1+4,84*9,953)= 2,03.$$

$$\Delta P= 7990*1,095/8*4,28*2,03=125,69 \text{ [кПа]}.$$

Заключение о категории помещения дается в зависимости от расчетной величины избыточного давления взрыва и класса обращающихся веществ:

- если избыточное давление взрыва превышает 5 кПа и в помещении находятся (обращаются) жидкости с температурой вспышки не более 28°*С*, то его относят к категории А, при температуре вспышки более 28°*С* - к категории Б;
- если избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, то помещение относят к категориям $В_1$-$В_4$.

Вывод: результаты расчета избыточного давления взрыва позволили определить категорию помещения по пожаровзрывоопасности - повышенная взрывопожароопасность (А), т.к. давление взрыва более 5 кПа и температура вспышки бензина -37°С.

*Вопросы для защиты задачи*

1 Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.
2 Опасные факторы пожара, воздействующие на людей и материальные ценности.
3 Способы предотвращения образования горючей среды.
4 Способы предотвращения образования в горючей среде источников зажигания.
5 Что такое нижний концентрационный предел воспламенения?
6 Противопожарные преграды зданий.

## Задача 5 Расчет пылестружкоотсасывающего устройства

Местной вентиляцией называется такая вентиляция, при которой чистый воздух подают на определенные места (местная приточная вентиляция), а загряз-

ненный воздух удаляют только от мест образования вредных выделений (местная вытяжная вентиляция). Местную вытяжную вентиляцию применяют, когда места выделения вредных веществ и выделений в помещении локализованы и нужно не допустить их распространении по всему помещению. Местная вытяжная вентиляция в производственных помещениях обеспечивает улавливание и отвод вредных выделений: газов, дыма, пыли и частично выделяющегося от оборудования тепла.

Вредность пыли зависит от ее количества, дисперсности и состава. Чем больше пыли витает в воздухе, чем мельче пыль, тем она опаснее. Пылинки размером от 0,1 до 10 мкм в воздухе оседают медленно и проникают глубоко в легкие. Более крупные пылинки быстро оседают в воздухе, а при вдыхании задерживаются в носоглотке и удаляются (мерцательным эпителием - покровные клетки с колеблющимися жгутиками) к пищеводу.

Для улавливания вредных и взрывоопасных газов, пыли, аэрозолей и паров у мест их образования (станки, сварочные аппараты, ванны, рабочие столы и т. п.) уже давно применяются такие виды местных отсосов, как зонты, бортовые отсосы, вытяжные шкафы, кожухи-воздухоприемники. В системах механической вентиляции общего назначения промышленных предприятий элементы изготовляют, как правило, из тонкой (не менее 0,5 мм) листовой стали и в некоторых случаях из асбестоцемента. Для переносных вентиляционных установок используются прорезиненные, а также металлические гибкие рукава. Для воздухоприемников применяются такие виды местных отсосов, как зонты, бортовые отсосы, вытяжные шкафы, кожухи-воздухоприемники.

В систему вытяжной вентиляции входят воздуховоды, воздухоприемники (пылестружкоотсасывающие), вентиляторы, фильтры (пылеуловители).

Эффективность работы воздухозаборных устройств можно оценить по скорости воздухозабора (в плоскости всасывания или в расчетной точке) и полнотой охвата факелом воздухозабора зоны выделения вредных веществ. Скорость воздухозабора должна быть не менее [27] транспортной скорости перемещения смеси воздуха и пыли, которая определяется из соотношения:

$$V_{тр} \geq 2{,}5 * V_{в},$$

где Vтр - транспортная скорость перемещения смеси воздуха и пыли, *м/с* ,
Vв – скорость витания частиц пыли (в задаче принимается Vв = 8 *м/с*).

Объём воздуха $L_B$, необходимого для транспортирования стружки в указанном устройстве, определяется исходя из образуемого количества стружки и удельного веса пылевоздушной смеси.

Площадь воздухозаборника определяется исходя из минимального объема воздуха, необходимого для транспортирования стружки $S = L_B / V_{тр}$, $м^2$. Размеры (АхВ) воздухозаборника определяются по соотношению сторон 1:3.

При опасности превышения концентрации и предельно допустимых норм вредных веществ в рабочей зоне станки должны оснащаться средствами для улавливания и (или) отсасывания вредных веществ.

В целях исключения травм от стружки, образующейся при обработке металла резанием на заточных станках, устанавливаются пылестружкоотсасывающие устройства. Конструкции этих устройств описаны в [1; 14].

***Исходные данные.*** Обрабатываемый материал – чугун; количество пыли, отделяющейся от обрабатываемого изделия, – $G_C$, *кг/ч* (машинного времени).

Рассчитать объём воздуха $L_B$, необходимого для транспортирования стружки в указанном устройстве, площадь и размеры воздухозаборника.

**Таблица 6 - Исходные данные к решению задачи**

| Варианты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Количество стружки, $G_{c,}$ *кг/ч* | 10 | 70 | 80 | 15 | 29 | 50 | 75 | 60 | 40 | 50 |
| Размеры воздухозаборника, *мм* | 100х 50 | 80х 120 | 90х 140 | 60х 80 | 70х 90 | 80х 80 | 90х 70 | 70х 70 | 60х 90 | 50х 150 |
| Варианты | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Количество стружки, $G_{c,}$ *кг/ч* | 20 | 50 | 85 | 25 | 30 | 30 | 65 | 90 | 35 | 45 |
| Размеры воздухозаборника, *мм* | 40х 150 | 70х 120 | 80х 110 | 70х 150 | 70х 120 | 80х 130 | 50х 180 | 40х 150 | 50х 160 | 60х 120 |

**Указания к решению задачи**

*Задача.* Для безопасной работы заточного станка с количеством стружки $G_{c,}$ =20 *кг/ч* определить объём воздуха $L_B$, необходимого для транспортирования металлической пыли.

1 Определить транспортную скорость перемещения смеси воздуха и пыли:

$$Vтр \geq 2,5 * 8 = 20 \ (м/сек).$$

2 Определить площадь воздухоприемника S:

$$S = AxB = 0,05*0,11=0,055 \ (м^2).$$

3 Определить количество воздуха, необходимого для непрерывного удаления пыли:

$$L_в= Vтр \ x \ S \ *3600 = 20*0,055*3600 = 396 \ (м^3 /час).$$

4 Составить эскиз и описать работу воздухозаборника, используя [1; 27].

*Вопросы для защиты задачи*

1 Элементы системы вытяжной вентиляции.
2 Показатели, характеризующие работу воздухозаборных устройств.
3 Чем определяется транспортная скорость?
4 Материалы для изготовления элементов системы вентиляции.
5 Виды воздухозаборных устройств.
6 Факторы, определяющие необходимый объем воздуха для транспортирования пыли.

## Задача 6 Расчет виброизоляции

***Вибрация*** - движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин.

Вибрацию оценивают: 1) частотой f (*Гц*) или периодом колебаний T, 2) одним из трёх параметров: амплитудой вибросмещения, амплитудой виброскорости, амплитудой виброускорения.

Степень ощущения вибрации оценивают по закону Вебера-Фехнера логарифмической относительной величиной - уровнем виброскорости Lv в децибелах (*дБ*):

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0},$$

где V - действующее среднеквадратичное значение виброскорости, *м/с*; $V_0$ - пороговая виброскорость, равная $5*10^{-8}$ *м/с*.

Среднеквадратичная виброскорость в 1,4 меньше амплитудного значения.

Воздействие вибрации на человека-оператора классифицируется [10]:

1 по способу передачи вибрации на человека;
2 по направлению действия вибрации;
3 по временной характеристике вибрации.

Низкочастотную вибрацию по способу передачи на человека делят на две группы: 1) общая - передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека и оценивается в октавных полосах f = 2, 4, 8, 16, 31,5; 63 *Гц*, 2) локальная, которая передаётся через руки на частотах f = 8, 16, 31,5; 63, 125, 250, 500, 1000 *Гц*.

Общую вибрацию по источнику возникновения делят на три категории:

1) транспортная (подвижные машины на местности), 2) транспортно-технологическая (краны, погрузчики), 3) технологическая (стационарные рабочие места).

По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат.

Для общей вибрации направление осей Xo, Yo, Zo связано с положением тела человека. Для локальной вибрации направление осей Xл, Yл, Zл связано с положением руки человека.

По временной характеристике различается:

- постоянная вибрация, для которой спектральный или корректированный по частоте контролируемый параметр за время наблюдения изменяется не более чем в 2 раза (на 6 *дБ*);
- непостоянная вибрация, для которой эти параметры за время наблюдения изменяются более чем в 2 раза (на 6 *дБ*).

Классификация методов уменьшения вибрации

1 Уменьшение вибрации в источнике возникновения. Эти средства осуществляют в процессе проектирования и строительства машины. К ним относятся центровка, динамическая балансировка, изменение характера возмущающих воздействий.

2 Применение организационно-технических мероприятий, которые включают уменьшение времени воздействия вибрации применением дистанционного управления, сокращение рабочего дня, устройство перерывов в работе.

3 Снижение вибрации на пути распространения (средства коллективной защиты - виброизолирующие крепления механизмов и рабочих мест, вибропо-

глощающие покрытия).

4 Применение средств индивидуальной защиты (виброзащитные рукавицы, одежда и обувь).

5 Применение лечебно-профилактического питания.

*Способы* снижения вибрации на пути распространения

1 Отстройка от режима резонанса (изменение массы и жесткости колебательной системы).

2 Вибродемпфирование (использование в качестве конструкционных деталей, изготовленных из материалов с большим внутренним сопротивлением; нанесение на вибрирующие поверхности материалов, обладающих большими потерями на трение).

3 Динамическое гашение колебаний (установка на фундаменты; установка динамических виброгасителей; дополнительной колебательной системы; динамических виброгасителей каткового, камерного или ударного типа).

4 Виброизоляция (виброизолирующие опоры). Характеризуется виброизоляция коэффициентом передачи при виброизоляции ($k_П$) - отношение амплитуды виброперемещения; (виброскорости, виброускорения защищаемого объекта или действующей на него силы) к амплитуде той же величины источника возбуждения при гармонической вибрации. Коэффициент передачи показывает, какая доля колебательной энергии передаётся от источника вибрации к основанию, на котором стоит человек.

***Исходные данные.*** Рассчитать виброизоляцию двигателя (исходные данные к решению задачи по вариантам принять по таблице 7) весом $P_1$= 100 *Н*, с частотой вращения $f$ = 83 $c^{-1}$ ($\approx$5000 *об/мин*), если вес фундамента $P_2$ в 4 раза больше веса электродвигателя $P_1$; фундамент изолирован от двигателя восемью прокладками из резины средней жесткости толщиной h = 6 *см*.

Таблица 7 – **Исходные данные к решению задачи**

| № | Материал | Вес двигателя, *Н* | Частота вращения *об/мин* | Вес фундамента, *Н* | Кол-во прокладок, шт | Толщина прокладок, *см* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | губчатая резина | 500 | 6000 | 2000 | 8 | 6 |
| 2 | мягкая резина | 600 | 5500 | 2600 | 9 | 5 |
| 3 | ребристая плита с отверстиями | 700 | 5000 | 3000 | 8 | 4 |
| 4 | ребристая плита с отверстиями | 800 | 6000 | 3500 | 6 | 6 |
| 5 | пробка натуральная | 900 | 6000 | 3900 | 8 | 6 |
| 6 | пробка натуральная | 1000 | 5500 | 4400 | 6 | 7 |
| 7 | пробка натуральная | 1100 | 5000 | 4600 | 7 | 3 |

Продолжение таблицы 7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | резина средней жесткости | 1200 | 5500 | 5100 | 7 | 6 |
| 9 | резина средней жесткости | 1300 | 4500 | 5500 | 5 | 6 |
| 10 | резина средней жесткости | 1400 | 4000 | 5800 | 4 | 6 |
| 11 | мягкая резина | 550 | 5400 | 2200 | 5 | 4 |
| 12 | пробка натуральная | 650 | 6000 | 2800 | 8 | 5 |
| 13 | пробка натуральная | 750 | 5500 | 3000 | 9 | 4 |
| 14 | пробка натуральная | 850 | 5000 | 3400 | 5 | 7 |
| 15 | ребристая плита с отверстиями | 950 | 6000 | 3900 | 4 | 4 |
| 16 | ребристая плита с отверстиями | 1050 | 5500 | 4400 | 6 | 4 |
| 17 | ребристая плита с отверстиями | 1150 | 6000 | 4700 | 5 | 6 |
| 18 | резина средней жесткости | 1250 | 5000 | 5100 | 5 | 4 |
| 19 | резина средней жесткости | 1350 | 5500 | 5500 | 9 | 6 |
| 20 | губчатая резина | 1450 | 5500 | 5900 | 9 | 5 |

**Решение**

Зная частоту возмущающей силы $f$ = 83 *Гц*, определяем величину статической осадки $x_{ст}$ для прокладки из резины средней жесткости по соотношению из таблицы А6 приложения:

$$X_{ст} = 0{,}015\ h = 0{,}015*6 = 0{,}09\ см.$$

Находим частоту собственных колебаний двигателя f по формуле:

$$f_0 = \frac{0{,}5}{\sqrt{x_{ст}}} = \frac{0{,}5}{\sqrt{0{,}09}} = 1{,}7\ Гц.$$

Определяем отношение частот возмущающей силы f и собственных колебаний $f_0$ :

$$\frac{f}{f_0} = \frac{83}{1{,}7} = 48{,}82.$$

Поскольку отношение частот $\frac{f}{f_0}$ >4, эффективность виброизоляции достаточна.

Определяем коэффициент передачи виброизоляции:

$$k_п = \frac{9*10^6}{x_{ст} n^2} = \frac{9*10^6}{0{,}09*5000^2} = 4\%.$$

Определяем площадь поверхности амортизаторов $S_а$:

$$S_а = \frac{10P}{\sigma} = \frac{10*500}{30*10^4} = 0{,}01667 \text{ м}^2 = 166{,}7 \text{ см}^2,$$

где $P = P_1 + P_2 = 100 + 400 = 500$ *Н* — общий вес двигателя и фундамента;
$\sigma = 30 \cdot 10^4$ *Па* – нормальное напряжение в амортизаторе.

Определяем площадь одной прокладки $S_п$: $S_п = \frac{S_a}{8} = \frac{166{,}7}{8} \approx 20$ *см*$^2$.

Таким образом, размеры прокладки равны: 4х5х6 *см*.

*Вопросы для защиты задачи*

1 Характеристики вибрации.
2 Классификация общей вибрации по источнику возникновения.
3 Классификация воздействия вибрации на человека.
4 Методы защиты от вибрации.
5 Материалы, применяемые для виброизоляции и их характеристики.
6 Устройства, применяемые для виброизоляции.
7 Показатель, определяющий эффективность виброизоляции.

## Задача 7 Расчет вентиляции производственных помещений

При работе автомобилей с карбюраторным двигателем рассчитывается выброс CO, CH, $NO_2$, Pb, и $SO_2$, для автомобилей с дизельными двигателями – CO, CH, $NO_2$, C и $SO_2$. При работе карбюраторного двигателя на газе (газобаллонный автомобиль) отсутствуют в выбросах соединения свинца. В связи с переходом на неэтилированный бензин выбросы свинца также не учитывают при оценке загрязнения воздуха при работе автомобиля.

Все химические вещества, используемые в современном производстве, по опасности воздействия могут быть классифицированы по следующим признакам: токсическому вредному эффекту, степени токсичности, классам опасности.

Степень токсичности вещества характеризуется предельно допустимой концентрацией рабочей зоны (ПДКрз) - концентрация, которая при ежедневной работе в течение 8 *ч*. на протяжении всего рабочего стажа не могут вызвать у работающих заболеваний или отклонения в состоянии здоровья.

В зависимости от вида воздействия вещества на организм человека (раздражающее и отравляющее) имеется два вида предельно допустимых концентраций: максимально разовая рабочей зоны ($ПДК_{МР.РЗ}$) и среднесменная рабочей зоны ($ПДК_{СС.РЗ}$) [6].

*Классы опасности вредных веществ*

Согласно ГОСТ 12.1.007-76 [8] по степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на 4 класса опасности:

1 Чрезвычайно опасные - ПДКрз менее 0,1 мг/м (берилий, ртуть, сулема, кварцевая пыль).

2 Высокоопасные - ПДКрз 0,1-1,0 мг/м (окислы азота, анилин, бензол, пыль гранита).

3 Умеренно опасные - ПДКрз 1,1-10,0 мг/м (вольфрам, борная кислота, угольная пыль).

4 Малоопасные - ПДКрз более 10,0 мг/м (аммиак, ацетон, пыль известняка).

Главным, а порой единственным средством противостоять загрязнению воздуха рабочей зоны является вентиляция помещений.

По способу подачи в помещение воздуха и удаления его, вентиляцию делят на естественную, механическую, смешанную.

По назначению вентиляция может быть общеобменной и местной.

Общеобменная вентиляции эффективна при незначительных загрязнениях воздуха помещений, а также в случае равномерного распределения источников выделения вредных веществ по площади производственного помещения. При значительных выделениях вредных веществ от отдельного оборудования обустраивают местную вентиляцию (оборудуют специальные воздухозаборники).

При устройстве общеобменной вентиляции расход тепловой энергии сократится, а обеспечить снижение концентрации вредных веществ непосредственно на рабочем месте до допустимого уровня не всегда получится. Снизить затраты на отопление и обеспечить для работников максимально комфортные условия способна местная вытяжная вентиляция с очисткой и рециркуляцией удаляемого воздуха.

Общеобменная вентиляция должна обеспечивать допустимое содержание примесей в воздухе в соответствии с действующими санитарными нормами и правилами, компенсацию дефицита воздуха в производственных помещениях при наличии местной вытяжной вентиляции, удаляющей загрязненный воздух, поддержание определенных климатических параметров воздуха в помещениях, регламентируемых ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [6].

Расчет общеобменной вентиляции ведут по количеству вредных веществ в воздухе рабочей зоны, по выделениям влаги и по избыткам тепла.

***Исходные данные.*** Определить объем воздуха, необходимого для осуществления общеобменной вентиляции испытательной станции, на которой производятся регулировка и испытание бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Одновременно на станции могут испытываться два двигателя с общей продолжительностью испытаний 1 ч. Продолжительность регулирования 0,25 ч. Максимальная мощность испытываемых и регулируемых двигателей 100 кВт (136 л.с.). Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 8.

В связи с учебной задачей расчет вентиляции помещения проводим только по выделению одного вредного вещества оксида углерода (CO).

**Решение**

Удаление выхлопных газов, выделяемых в процессе регулирования и испытания ДВС, осуществляется с помощью местных отсосов, присоединяемых к

выхлопным трубам двигателей. В процессе работы возможен прорыв газов в помещение через неплотности стыков шлангов и газоходов местных отсосов: при испытании около 5% и при регулировании ДВС около 10% от общего количества выхлопных газов.

Таблица 8 - **Исходные данные к решению задачи**

| № варианта | Количество испытываемых двигателей, шт. | Максимальная мощность двигателя, кВт. | Продолжительностью испытаний, час | Продолжительность регулирования, | Прорыв газов при испытании, % | Прорыв газов при регулировании, % | Концентрация СО в приточном воздухе, доли ПДК |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 200 | 1 | 0,25 | 6 | 8 | 0 |
| 2 | 3 | 150 | 1,25 | 0,35 | 7 | 9 | 0,1 |
| 3 | 4 | 100 | 2 | 0,45 | 8 | 10 | 0,2 |
| 4 | 5 | 80 | 1 | 0,5 | 5 | 11 | 0,3 |
| 5 | 4 | 80 | 1 | 0,25 | 6 | 12 | 0,1 |
| 6 | 3 | 100 | 1,25 | 0,35 | 7 | 6 | 0,2 |
| 7 | 2 | 150 | 2 | 0,45 | 8 | 7 | 0,3 |
| 8 | 3 | 100 | 1 | 0,5 | 3 | 8 | 0 |
| 9 | 4 | 150 | 1,25 | 0,25 | 4 | 9 | 0,1 |
| 10 | 5 | 80 | 2 | 0,35 | 5 | 10 | 0,2 |
| 11 | 4 | 100 | 1 | 0,25 | 6 | 8 | 0,2 |
| 12 | 6 | 150 | 1,25 | 0,35 | 7 | 9 | 0,5 |
| 13 | 8 | 100 | 2 | 0,45 | 8 | 10 | 0,3 |
| 14 | 5 | 150 | 1 | 0,5 | 5 | 11 | 0,1 |
| 15 | 3 | 80 | 1 | 0,25 | 6 | 12 | 0,1 |
| 16 | 7 | 100 | 1,25 | 0,35 | 7 | 6 | 0 |
| 17 | 9 | 80 | 2 | 0,45 | 8 | 7 | 0,2 |
| 18 | 4 | 80 | 1 | 0,5 | 3 | 8 | 0,1 |
| 19 | 5 | 100 | 1,25 | 0,25 | 4 | 9 | 0,1 |
| 20 | 3 | 120 | 2 | 0,35 | 5 | 10 | 0 |

Объем вентиляционного воздуха подсчитываем с учетом разбавления выделяющейся окиси углерода приточным воздухом до предельно допустимой концентрации ($C_{ПДК(CO2)}$= 30 *мг/м*$^3$) .

Количество окиси углерода, выделяемой при работе одного автомобильного двигателя:

$$G_{co} = \beta * B * \rho / 100 \quad кг/ч,$$

где В - расход топлива, *кг/ч*;

$\beta$ - количество выхлопных газов, образующихся при сгорании 1 кг топлива, (для бензиновых двигателей $\beta \approx 15$ *кг/кг*);

$\rho$ - процентное содержание СО в выхлопных газах; в зависимости от характера работы двигателя:

при заводке, прогреве и регулировании ДВС 5%

при испытаниях ДВС на стенде 3%.

Если расход топлива ДВС неизвестен, то его определяют по формуле**:**

$$B=\alpha * к_{\alpha}\sqrt{N}\ ,\ кг/ч,$$

где $\alpha$ - удельный расход топлива на 1 кВт мощности (для бензиновых ДВС $\alpha \approx 0{,}585$ *кг/ч*);

$к_a$ - коэффициент режима работы двигателя (при прогреве и регулировании двигателя $к_a$=10, при испытаниях двигателей $к_a$ =1,5);

*N* – мощность двигателя (100 *кВт*).

Учитывая, что в процессе *испытания двигателей* процентное содержание СО в выхлопных газах попадающих в атмосферу производственного помещения составляет $\rho$ = 3% от общего количества выхлопных газов, определяют расход топлива и интенсивность выделения в помещение окиси углерода:

$$B = 0{,}586*1{,}5\ \sqrt{100}\ = 8{,}775\quad кг/ч;$$

$$G_{co} = 15*8{,}775\ \frac{3}{100}\ 0{,}05 = 0{,}197\quad кг/ч.$$

Минимальный объем вентиляционного воздуха с учетом того, что в течение часа испытываются два двигателя, определяют по формуле:

$$L_{об\ в}=\frac{Gвр}{C_{ПДК}-C_{ПР}}=\frac{0{,}197*1000}{(0{,}3-0)*3{,}6*10^3}*2=3{,}65\quad м^3/с\quad (13162\ м^3/ч),$$

где $G_{вр}$ – интенсивность выделения вредных веществ, *мг/с*,

$C_{пр}$ – концентрация вредных веществ в приточном воздухе *мг/м*$^3$,

$C_{пдк}$ – предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе *мг/м*$^3$ ($C_{пр} \leq 0{,}3*C_{пдк}$).

Аналогично рассчитываем объем вентиляционного воздуха в *процессе регулирования двигателей*. При регулировании ДВС $к_a$ = 1,0 , *р* = 5%, $\tau$ = 0,25 *ч* и доля выхлопных газов, попадающих в производственное помещение, составляет 10%, т.е.:

$$B^1 = 0{,}586\ *1{,}0\ *\sqrt{100}\ = 5{,}85\quad кг/ч;$$

$$G_{co} = 15\ *5{,}85*\ \frac{5}{100}*0{,}1 = 0{,}439\quad кг/ч;$$

$$L_{обр}=\frac{0{,}439*1000*0{,}25}{3{,}6*10^3\ *0{,}03}=2{,}6\ м^3/с\quad (9380\ м^3/ч).$$

Потребный воздухообмен составляет 3,65 м$^3$/с (13162 *м*$^3$*/ ч*).

*Вопросы для защиты задачи*

1 Вредные вещества, содержащиеся в отработанных газах автомобиля карбюраторным двигателем.
2 Классификация химических веществ в зависимости от фактора влияния на организм человека.
3 Классы опасности вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
4 Условия, определяющие необходимость применения общеобменной вентиляции в помещении.
5 Факторы, определяющие требуемый воздухообмен в помещении.

# Список литературы


1 Белов С.В., Бринза В.Н., Векшин Б.С. и др. Безопасность производственных процессов: Справочник / Под общ. ред. С.В. Белова. –М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.
2 ВНТП 05-97. Определение категорий помещений и зданий предприятий и объектов железнодорожного транспорта по взрывопожарной и пожарной опасности. - 1997. - 47с.
3 ГОСТ 12.0.002-80 (СТ СЭВ 1084-78) ССБТ. Термины и определения.
4 ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77) ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
5 ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
6 ГОСТ 12.1.005-88 (1991). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
7 ГОСТ 12.1.007 – 76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
8 ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
9 ГОСТ 12.1.010 – 77 (1999). ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
10 ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
11 ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
12 ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
13 ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
14 ГОСТ 12.2.009-99. ССБТ. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности.
15 ГОСТ 12.2.072-98. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний.
16 ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
17 ГОСТ 24346-80 (СТ СЭВ 1926-79). Вибрация. Термины и определения.
18 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Уч. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.:Энергоиздат, 1984.-448 с.
19 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ Р М-016-2001. РД 153-34.0-03.150-00, 2001.
20 НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
21 Полушкин В.И., Русак О.Н., Бурцев С.И. и др. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учеб. пособие. - СПб: Профессия, 2002.- Ч.1. Теоретические основы создания микроклимата здания. – 176 с.
22 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.
23 Правила устройства электроустановок.– 7-е изд., перераб. и доп.– М.: Энегроатомиздат, 2002.
24 Руководящие указаний по проектированию, сооружению и эксплуатационному контролю заземляющих устройств.
25 Руководящие указания по проектированию, сооружению и эксплуатационному контролю заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ. - ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. - 73с.
26 Салов А.И., Беркович Я.М., Васильева И.И. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта (практические расчеты) / Под редакцией А.И.Салова. - М.: Транспорт, 1977. – 183с.
27 Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справочник / Под ред. С.В. Белова – М.: Машиностроение, 1989. – 368с.
28 СТ СЭВ 383—87. СТАНДАРТ СЭВ. Пожарная безопасность в строительстве. Термины и определения.
29 Трудовой кодекс Российской Федерации № 197 - ФЗ от 30 декабря 2001 г.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - **Допустимые сопротивления заземляющего устройства в электроустановках до и выше 1000 В**

| Наибольшие допустимые значения $R_3$, Ом | Характеристика электроустановок |
|---|---|
| $R_3 \leq 0,5$ | Для электроустановок напряжением выше 1000 В и расчетным током замыкания на землю $I_3 > 500$ А |
| $R_3=250/I_3 \leq 10$ | Для электроустановок напряжением выше 1000 В и расчетным током замыкания на землю $I_3 < 500$ А |
| $R_3=125/I_3 \leq 10$ | При условии, что заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до и выше 1000 В и расчетном токе замыкания на землю $I_3 < 500$ А |
| $R_3 \leq 2$ | В электроустановках напряжением 660/380 В |
| $R_3 \leq 4$ | В электроустановках напряжением 380/220 В |
| $R_3 \leq 8$ | В электроустановках напряжением 220/127 В |

**Примечание:** Для электроустановок напряжением до 1000 В значения $R_3$ даны при условии, что удельное сопротивление грунта $p \leq 100$ Ом.м. При удельном сопротивлении фунта $p > 100$ Ом.м разрешается увеличивать указанные величины в $K = p / 100$, но не более чем в 10 раз.

Таблица А2 - **Приближенные значения удельных сопротивлении грунтов**

| Грунт | Удельное сопротивление *p,* Ом м | Грунт | Удельное сопротивление *p*,Ом.м |
|---|---|---|---|
| Глина | 40 | Известняк, крупный песок с валунами | 1000-2000 |
| Сугли- | 100 | | |
| Песок | 700 | | |
| Супесь | 300 | Скала, валуны | 2000-4000 |
| Торф | 20 | Садовая земля | 40 |

Таблица А3 - **Коэффициенты использования электродов заземлителя**

| *a/l* | Коэффициенты использования вертикальных электродов $\eta в$, размещенных по контуру, при числе электродов в контуре: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 | 40 | 60 | 100 |
| 1 | - | 0,69 | 0,61 | 0,56 | 0,47 | 0,41 | 0,39 | 0,36 |
| 2 | - | 0,78 | 0,73 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,55 | 0,52 |
| 3 | - | 0,85 | 0,80 | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,64 | 0,62 |

Продолжение таблицы А3

| *a/l* | Коэффициенты использования горизонтального электрода $\eta_г$, соединяющего вертикальные электроды, размещенные по контуру, при числе вертикальных электродов в контуре: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 | 40 | 60 | 100 |
| 1 | - | 0,450 | 0,40 | 0,34 | 0,27 | 0,22 | 0,20 | 0,19 |
| 2 | - | 0,55 | 0,48 | 0,40 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,23 |
| 3 | - | 0,70 | 0,64 | 0,56 | 0,45 | 0,39 | 0,36 | 0,33 |

**Примечания:**

1) *a/l* – отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине.

2) коэффициенты использования электродов заземлителя получили ещё название коэффициентов взаимного экранирования.

Таблица А4 - **Приближенные значения расчетных полных сопротивлений $Z_т$,*Ом* обмоток масляных трехфазных трансформаторов** [27]

| Мощность трансформатора, *кВА* | Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, *кВ* | $Z_т$, *Ом*, при схеме соединения обмоток | | Мощность трансформатора, *кВА* | Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, *кВ* | $Z_т$, *Ом*, при схеме соединения обмоток | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Y/Y$_н$ | Δ/ Y$_н$, Y/Z$_н$ | | | Y/Y$_н$ | Δ/ Y$_н$, Y/Z$_н$ |
| 25 | 6-10 | 3,11 | 0,906 | 400 | 6-10 | 0,195 | 0,056 |
| 40 | 6-10 | 1,949 | 0,562 | | 20-35 | 0,191 | - |
| 63 | 6-10 | 1,237 | 0,36 | 630 | 6-10 | 0,129 | 0,042 |
| | 20-35 | 1,136 | 0,407 | | 20-35 | 0,121 | - |
| 100 | 6-10 | 0,799 | 0,266 | 1000 | 6-10 | 0,081 | 0,027 |
| | 20-35 | 0,764 | 0,327 | | 20-35 | 0,077 | 0,032 |
| 160 | 6-10 | 0,487 | 0,141 | 1600 | 6-10 | 0,054 | 0,017 |
| | 20-35 | 0,487 | 0,203 | | 20-35 | 0,051 | 0,020 |
| 250 | 6-10 | 0,312 | 0,090 | | | | |
| | 20-35 | 0,305 | 0,130 | | | | |

Таблица А5 - **Активные $r_\omega$ и внутренние индуктивные $x_\omega$ сопротивления стальных проводников при переменном токе (50Гц), Ом/км**

| Размеры или диаметр сечения, мм | Сечение, мм$^2$ | $r_\omega$ | $x_\omega$ | $r_\omega$ | $x_\omega$ | $r_\omega$ | $x_\omega$ | $r_\omega$ | $x_\omega$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | при ожидаемой плотности тока в проводнике, А/мм$^2$ | | | | | | | |
| | | 0,5 | | 1,0 | | 1,5 | | 2,0 | |
| Полоса прямоугольного сечения | | | | | | | | | |
| 20x4 | 80 | 5,24 | 3,14 | 4,20 | 2,52 | 3,48 | 2,09 | 2,97 | 1,78 |
| 30x4 | 120 | 3,66 | 2,20 | 2,91 | 1,75 | 2,38 | 1,43 | 2,04 | 1,22 |
| 30x5 | 150 | 3,38 | 2,03 | 2,56 | 1,54 | 2,08 | 1,25 | - | - |
| 40x4 | 160 | 2,80 | 1,68 | 2,24 | 1,34 | 1,81 | 1,09 | 1,54 | 0,92 |
| 50x4 | 200 | 2,28 | 1,37 | 1,79 | 1,07 | 1,45 | 0,87 | 1,24 | 0,74 |
| 50x5 | 250 | 2,10 | 1,26 | 1,60 | 0,96 | 1,28 | 0,77 | - | - |
| 60x5 | 300 | 1,77 | 1,06 | 1,34 | 0,80 | 1,08 | 0,65 | - | - |
| Проводник круглого сечения | | | | | | | | | |
| 5 | 19,63 | 17,0 | 10,2 | 14,4 | 8,65 | 12,4 | 7,45 | 10,7 | 6,4 |
| 6 | 28,27 | 13,7 | 8,2 | 11,2 | 6,70 | 9,4 | 5,65 | 8,0 | 4,8 |
| 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 | - | - | - | - |

Таблица А6 - **Допустимое напряжение σ, модуль упругости *E* и допустимая величина статической осадки $x_{ст}$ для различных материалов**

| **Материалы** | **σ, Па** | ***E*, Па** | $\frac{E}{\sigma}$ | **$x_{ст}$, см** |
|---|---|---|---|---|
| Губчатая резина | 2,94 | 294 | 100 | 0,01 h |
| Мягкая резина | 7,84 | 490 | 63 | 0,016 h |
| Ребристая резиновая плита с отверстиями | 7,84-9,81 | 392,4—294,0 | 50 | 0,02 h |
| Резина средней жесткости | 29,43-39,24 | 1952-2452,5 | 64 | (0,015-0,016) h |
| Пробка натуральная | 14,71—19,62 | 294-392,4 | 20 | 0,05 h |
| Плита из пробковой крошки | 5,48-9,81 | 588,6 | 60-100 | (0,010-0,017) h |
| Войлок мягкий | 1,96-2,94 | 196,2 | 65-100 | (0,010-0,015) h |
| Войлок жесткий прессованный | 13,83 | 882,9 | 64 | 0,0155 h |

Микуров Алексей Иванович

Кривобокова Вера Александровна

Белякин Сергей Константинович

Евтушенко Наталья Георгиевна

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Методические указания к выполнению
практических работ для студентов направлений
090303.65, 140400.62, 150700.62, 151900.62, 190100.62, 190109.65,
190110.65, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62, 222000.62,
231000.62, 280700.62

***Редактор О.Г. Арефьева***

| | | |
|---|---|---|
| Подписано в печать | Формат 60*84 1/16 | Бумага тип. №1 |
| Печать трафаретная | Усл. печ. л. 2,5 | Уч. изд. л. 2,5 |
| Заказ | Тираж 175 | Цена свободная |

Редакционно - издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.