

## 1. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

### 1.1. Общие сведения

Электрический ток является опасным фактором и может вызвать электрическую травму, в том числе со смертельным исходом. Величина индивидуального риска поражения электрическим током в разных странах различна и составляет от  $5 \cdot 10^{-6}$  до  $10 \cdot 10^{-6}$  год $^{-1}$ . В России она может быть оценена, примерно, в  $(6 \dots 8) \cdot 10^{-6}$  год $^{-1}$ . Основной задачей при проектировании и использовании устройств, потребляющих электрический ток, является снижение риска до допустимого значения, т. е. значения, в 6 – 8 раз меньшего, чем имеющееся в настоящее время. Перед студентами ставится задача изучить воздействие этого фактора, состояние нормирования допустимых значений напряжения прикосновения и силы тока, принципы и методы защиты в нормальном и в аварийном режимах работы и научиться оценивать риск при возможных схемах включения человека в цепь тока и использовании им защитных мер.

Имеются “Правила устройства электроустановок” (ПУЭ) и целый ряд государственных стандартов, которые определяют основные и дополнительные технические методы и средства защиты от поражения человека электрическим током. Базовыми из них являются основная изоляция, характеризующаяся сопротивлением изоляции токоведущих частей от корпуса, которое рассчитывается на рабочее напряжение изделия и периодически проверяется после изготовления последнего и в процессе его эксплуатации (класс изделий I), или использование малых сверхнизких напряжений (класс изделий III). На случай выхода из строя основной защиты должна быть предусмотрена дополнительная защита. Информацию о дополнительных средствах защиты от поражения электрическим током с подробным описанием особенностей их применения и методами расчёта можно найти в учебном пособии В. А. Буканина, А. А. Ковбасина, В. Н. Павлова, А. О. Трусова “Технические средства обеспечения электробезопасности” (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2007).

Для защиты работников от электрической опасности организационными методами имеются требования, определяемые “Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок” ПОТ Р М-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00 и “Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей”. Подробное описание особенностей применения организационных методов защиты от поражения

электрическим током можно найти в учебном пособии В. А. Буканина, А. А. Ковбасина, В. Н. Павлова, А. О. Трусова “Организационные методы обеспечения электробезопасности” (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2009).

Расчётные схемы для анализа риска поражения электрическим током при однофазном прямом прикосновении к фазе A приведены на рис. 1.1 и 1.2.

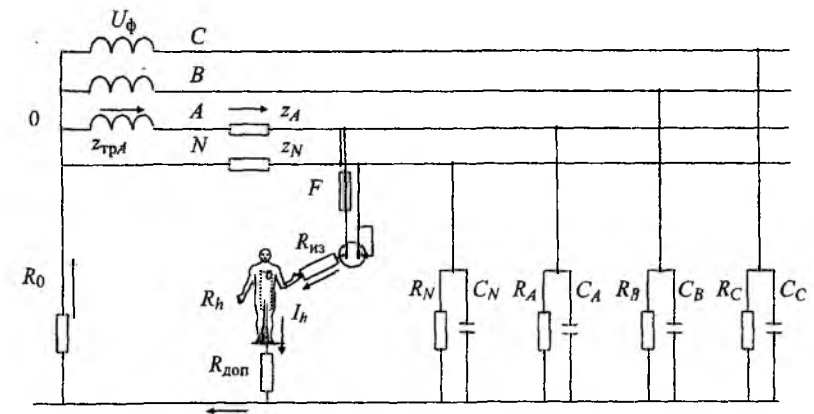


Рис 1.1. Схема для анализа безопасности человека в системе TN-C

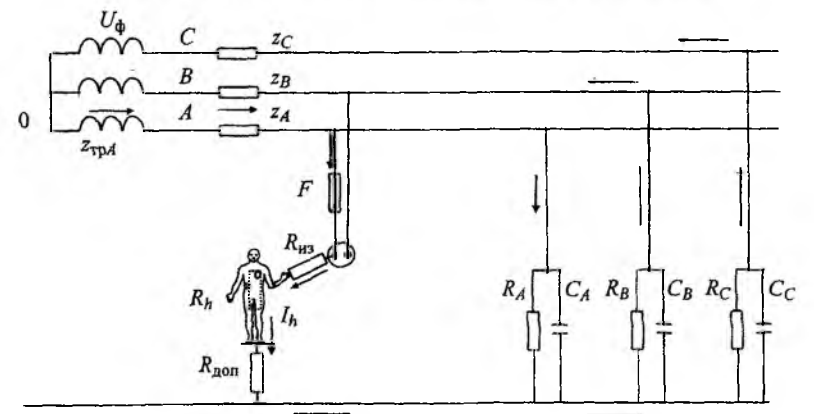


Рис 1.2. Схема для анализа безопасности человека в системе IT

Ток  $I_h$ , протекающий по телу человека при прямом прикосновении к сети с заземлённой нейтралью, в основном определяется фазным напряжением сети  $\dot{U}_{\phi A}$  и сопротивлениями на его пути: трансформатора  $\dot{Z}_{трA}$ , фазного

провода  $\dot{Z}_{\phi A}$ , изоляции между токоведущей частью и рукой человека  $R_{из}$ , самого человека  $R_h$ , пола  $R_{доп}$ , на котором стоит человек, и рабочего заземления  $R_0$ :

$$\dot{I}_h = \frac{\dot{U}_{\phi A}}{\dot{Z}_{трA} + \dot{Z}_{\phi A} + R_{из} + R_h + R_{доп} + R_0} \approx \frac{\dot{U}_{\phi A}}{R_{из} + R_h + R_{доп}}$$

Ток, протекающий через тело человека при однофазном прямом прикосновении в сети с изолированной нейтралью, зависит от сопротивления изоляции и от ёмкости фаз относительно земли, а также от сопротивлений изоляции тела человека от токоведущей части, самого человека и дополнительного сопротивления пола:

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{2(R_{из} + R_h + R_{доп})} \sqrt{\frac{9\left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)^2 + \left[\sqrt{3}\left(\frac{1}{R_B} - \frac{1}{R_C}\right) + 6\omega C_{\phi}\right]^2}{\left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_{из} + R_h + R_{доп}}\right)^2 + 9\omega^2 C_{\phi}^2}}$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение;  $R_A, R_B, R_C$  – активные сопротивления изоляции, Ом;  $\omega = 314$  – круговая частота,  $c^{-1}$ ;  $C_{\phi}$  – ёмкость фаз относительно земли, Ф.

Для однофазного источника питания и двухпроводной сети, полюсы которых изолированы от земли (рис. 1.3, а), при прикосновении человека к одному из полюсов напряжение между полюсом и землёй зависит от проводимостей  $\dot{Y}_1 = 1/R_1 + j\omega C_1$  и  $\dot{Y}_2 = 1/R_2 + j\omega C_2$  и выражается формулой

$$\dot{U}_{13} = U \frac{\dot{Y}_2}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + 1/(R_h + R_{доп})}$$

Для источника, один полюс которого заземлён (рис. 1.3, б), при прикосновении человека к другому полюсу напряжение между ним и землёй практически не зависит от проводимостей и выражается формулой

$$\dot{U}_{13} = U \frac{1/R_0}{1/R_0 + 1/(R_h + R_{доп})} = U \frac{R_h + R_{доп}}{R_0 + R_h + R_{доп}} \approx U$$

Дополнительной защитой в системах TN-C (сеть с объединённым нулевым и защитным проводами), TN-S (сеть с отдельным защитным проводом) является зануление. Для анализа электробезопасности в этом случае рассматриваются общая схема (рис. 1.4) и упрощённая схема (рис. 1.5).

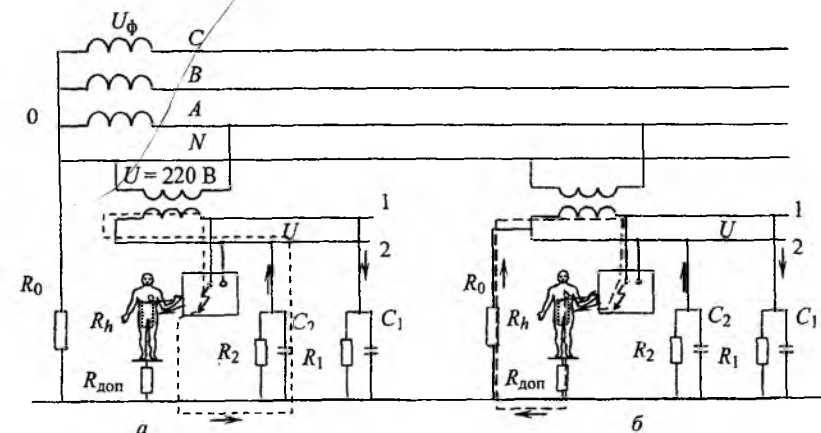


Рис 1.3. Схема для анализа безопасности человека в системе TN-C при использовании трансформаторов, в которых один полюс вторичной обмотки:  
а – изолирован от земли, б – заземлён

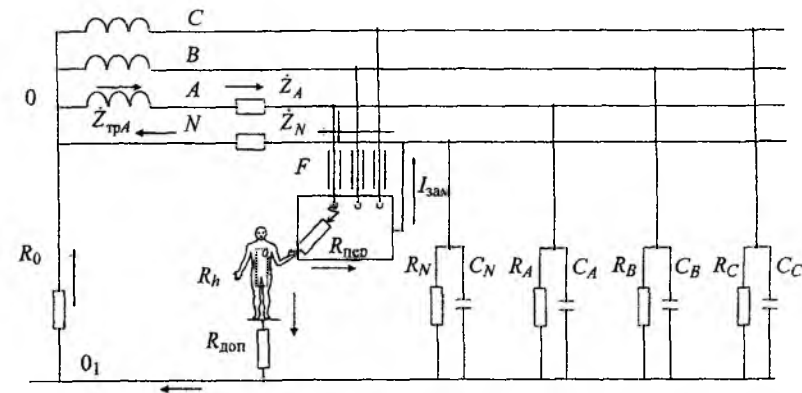


Рис 1.4. Схема замещения для расчёта системы зануления

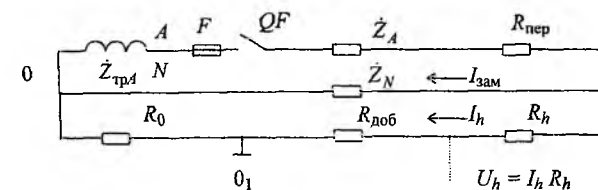


Рис 1.5. Упрощённая схема для расчёта системы зануления

Ток короткого замыкания, который должен обеспечить отключение неисправного потребителя от сети, и напряжение на корпусе приёмника с повреждённой изоляцией до момента этого отключения рассчитываются по формулам

$$I_{\text{зам}} = \frac{U_{\phi}}{\dot{Z}_{\text{тр}} + \dot{Z}_A + R_{\text{пер}} + \dot{Z}_N}, U_{\text{кор}} = I_{\text{зам}} \dot{Z}_N,$$

где  $\dot{Z}_{\text{тр}}, \dot{Z}_A, \dot{Z}_N$  – собственные сопротивления обмотки трансформатора, фазного и нулевого проводов соответственно и  $R_{\text{пер}}$  – переходное сопротивление (дополнительное сопротивление в месте замыкания на корпус).

Этот ток сравнивается с током уставки  $I_{\text{уст}}$  автоматического выключателя или плавкого предохранителя, имеющих определённые характеристики срабатывания, пример которых приведён на рис. 1.6.

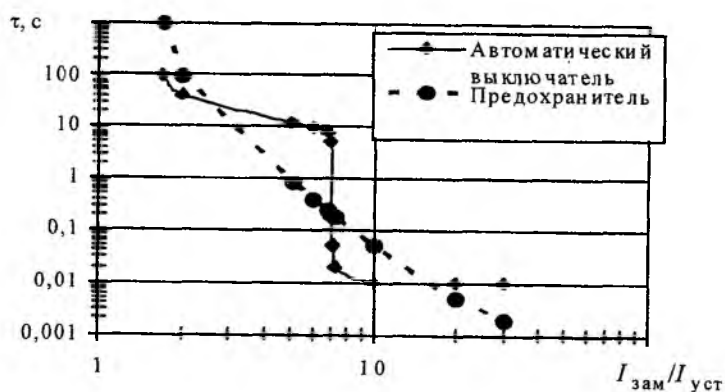


Рис. 1.6. Характеристика времени срабатывания автоматического выключателя и плавкого предохранителя от кратности тока короткого замыкания к току уставки

Время отключения системой защиты электроприёмника с повреждённой изоляцией определяют по кратности тока уставки к току системы максимальной токовой защиты. Ток, протекающий по телу человека, легко рассчитать, зная напряжение на корпусе по отношению к нейтрали трансформатора,  $I_h = U_{\text{кор}} / (R_h + R_{\text{доб}} + R_0)$ .

Риск поражения человека электрическим током оценивают сравнением полученной силы тока с предельно допустимым значением её для найденного времени отключения повреждённого электроприёмника, а также со значениями неотпускающего и фибрилляционного токов.

Защитное заземление используется в качестве дополнительной защиты в системах ИТ. Основным параметром, характеризующим данный вид защиты от поражения человека электрическим током, является сопротивление защитного заземления  $R_{\text{зaz}}$ . Для анализа риска при замыкании фазы на корпус приёмника необходимо определить напряжение на корпусе, рассчитать ток, протекающий с корпуса в землю через тело человека, и сравнить полученный результат с допустимой силой тока для аварийного режима работы оборудования.

Для однофазного источника питания и двухпроводной сети, полюсы которых изолированы от земли, при косвенном прикосновении человека к корпусу напряжение между ним и землёй

$$U_{\text{лз}} = U \frac{\dot{Y}_2}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \frac{1}{R_h + R_{\text{доп}}} + \frac{1}{R_{\text{зaz}}}} \approx U \dot{Y}_2 R_{\text{зaz}},$$

где  $\dot{Y}_1, \dot{Y}_2$  – проводимости первого и второго полюсов относительно земли,  $U$  – рабочее напряжение источника питания.

Для трёхфазной сети напряжение фазы  $A$  относительно земли  $U_{A3}$  при замыкании её на корпус

$$U_{A3} = \frac{U_{\phi}}{2} \sqrt{\frac{9\left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)^2 + \left[\sqrt{3}\left(\frac{1}{R_B} - \frac{1}{R_C}\right) + 6\omega C_{\phi}\right]^2}{\left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_h + R_{\text{доп}}} + \frac{1}{R_{\text{зaz}}}\right)^2 + 9\omega^2 C_{\phi}^2}}.$$

Одна из возможных цепей тока через тело человека (“нога – нога”) связана с появлением напряжения шага на поверхности земли, по которой человек передвигается. Напряжение шага – это напряжение между двумя находящимися на поверхности земли точками в зоне растекания тока вблизи заземлителя или места замыкания токоведущих частей на землю (рис. 1.7).

Если для упрощения принять грунт однородным с удельным сопротивлением  $\rho$ , а место замыкания (или заземлитель) – имеющим форму полусферы

ры радиусом  $r$ , что обеспечивает равномерность растекания тока во всех направлениях, тогда потенциал на расстоянии  $x$  от места замыкания тока силой  $I$  на землю (или заземляющее устройство) определится следующим выражением:

$$\varphi_x = \int_x^{\infty} E dx = \int_x^{\infty} \frac{I\rho}{2\pi x^2} dx = \frac{I\rho}{2\pi} \int_x^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{I\rho}{2\pi x} \Big|_x^{\infty} = \frac{I\rho}{2\pi x}$$

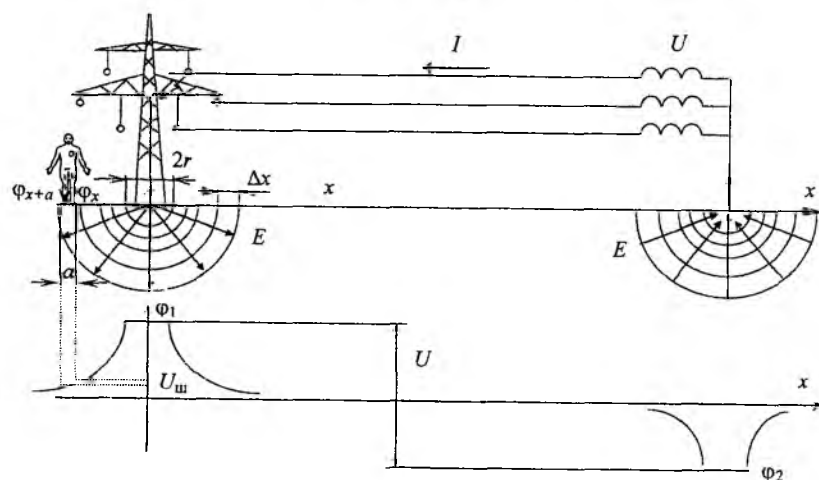


Рис. 1.7. К расчёту шагового напряжения от тока замыкания на землю

Потенциал в месте замыкания определится как

$$\varphi_1 = \varphi|_{x=r} = \frac{I\rho}{2\pi r} = IR_{\text{зам}}.$$

Напряжение шага равно разности потенциалов между двумя ногами человека (или животного) с шириной шага  $a$ :

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+a} = \int_x^{x+a} E dx = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{a}{x(x+a)} = \varphi_1 \frac{ra}{x(x+a)}.$$

Для его нахождения необходимо знать потенциал в месте замыкания и сопротивление замыкания или ток замыкания и удельное сопротивление грунта, на котором стоит человек. Расчёт напряжения относительно земли

или тока замыкания может быть выполнен по ранее приведённым формулам в зависимости от сети с учётом того, что вместо сопротивления тела человека используется сопротивление замыкания.

## 1.2. Основные вопросы раздела занятий

1.1. Возможные схемы включения человека в цепь тока. Виды однополюсного прикосновения. Напряжение прикосновения. Для чего его рассчитывают?

1.2. Виды воздействия тока на организм человека.

1.3. Особенности биологического действия тока на организм человека.

1.4. Влияние длительности воздействия тока на исход поражения человека.

1.5. Зависимость исхода поражения током от напряжения, частоты и рода тока.

1.6. Принципы нормирования силы тока и напряжения прикосновения.

1.7. Сопротивление изоляции и ёмкость сети относительно земли. От каких факторов зависит их значение?

1.8. Прикосновение к сети, изолированной от земли. От каких параметров сети зависит сила тока через тело человека?

1.9. Однофазное прикосновение к сетям с небольшой ёмкостью, изолированным от земли. Защитные мероприятия от поражения при касании фазного провода и корпуса электроприёмника в случае замыкания на него фазного провода.

1.10. Прикосновение к сети с большей ёмкостью, изолированной от земли. Напряжение прикосновения. Защитные мероприятия.

1.11. Однофазное прикосновение к сети с заземлённой нейтралью. Возможные значения напряжения прикосновения.

1.12. Виды защитных средств от поражения током. Назначение, области применения. Индивидуальные средства защиты работающих.

1.13. Виды технических защитных мероприятий для предупреждения поражения человека электрическим током. Основные принципы защиты.

1.14. Защитные мероприятия от поражения током в сетях с изолированной нейтралью. Виды, принцип действия.

1.15. Защитное заземление. Назначение и принцип действия. Области применения.

1.16. Контурное заземление. Назначение, принцип действия и конструктивное исполнение.

1.17. Составные части заземляющего устройства. Нормы сопротивления заземления.

1.18. Особенности защитного заземления в высоковольтных трехфазных сетях с глухим заземлением нейтрали.

1.19. Опасности режима однофазного прикосновения к высоковольтной сети с заземлённой нейтралью (в том числе прикосновение к оборванному проводу).

1.20. Почему в четырёхпроводных сетях с глухим заземлением нейтрали применяют зануление, а не защитное заземление?

1.21. Зануление. Назначение и принцип действия. Область применения. Расчёт зануления. Зачем делается?

1.22. Опасности неисправности системы зануления. Способы защиты от них.

1.23. В каких случаях могут возникать опасные потенциалы на нулевом проводе в сети с глухим заземлением нейтрали?

1.24. Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током. Значения допустимых напряжений питания переносных электроинструментов.

1.25. Компенсация ёмкостной составляющей тока через тело человека. Недокомпенсация. Перекомпенсация.

1.26. Методы обеспечения недоступности токоведущих частей электротехнических изделий. Классификация корпусов по степени защиты токоведущих частей.

1.27. Защитное разделение сетей. Назначение, принцип действия, конструктивное исполнение, область применения.

1.28. Выравнивание потенциалов. Принцип действия. Области применения.

1.29. Защитное отключение и защитное шунтирование. Принцип действия. Области применения.

1.30. Зона растекания тока в земле. Характеризующие её параметры.

1.31. Зона растекания тока в земле. От каких параметров сети зависит опасность поражения человека, находящегося в зоне растекания тока?

1.32. Зоны растекания тока при однофазном замыкании на землю в трёхфазных сетях с изолированной и с заземлённой нейтралью, имеющих равные рабочие напряжения. Какая зона опаснее для человека?

1.33. Напряжение шага. Опасности. Защита.

1.34. Наведённый заряд. Остаточный заряд. Заряд статического электричества. Их природа, примеры возникновения. Опасность для человека.

1.35. Методы контроля сопротивления изоляции в сетях переменного тока, изолированных от земли.

1.36. Контроль сопротивления изоляции сети и электроприёмников. Для чего проводится?

1.37. Методы измерения сопротивления изоляции у сетей постоянного тока.

1.38. Организационные методы обеспечения электробезопасности. Документированные процедуры работ по обеспечению электробезопасности на предприятиях и в организациях.

1.39. Организация работ персонала в электроустановках. Группы по электробезопасности. С какой группой по электробезопасности можно выполнять работу по уборке помещения и по замене электрических ламп?

### 1.3. Задания по теме

1.1. Стоя на полу, человек прикоснулся к одному из проводов однофазной двухпроводной электрической сети типа IT при нормальном режиме её работы. Сопротивления изоляции проводов (полюсов) относительно земли  $R_1 = 60 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 15 \text{ кОм}$ ; рабочее напряжение сети  $U = 220 \text{ В}$ . Примите дополнительное сопротивление пола  $R_{\text{доп}} = 5 \text{ кОм}$ ,  $R_h = 1 \text{ кОм}$ , а ёмкость проводов сети относительно земли равной нулю. Определите ток, прошедший через тело человека, в двух случаях: при прикосновении к проводу с большим и к проводу с меньшим сопротивлениями изоляции относительно земли. Оцените степень опасности.

1.2. От трёхфазной сети с заземлённой нейтралью с фазным напряжением  $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$  осуществляется питание двух электроустановок, причём корпус одной из них занулён, а корпус другой электроустановки в нарушение правил устройства электроустановок оказался только заземлённым. На второй корпус произошло замыкание фазного провода. Сопротивление рабочего

заземления нейтрали обмоток трансформатора  $R_0 = 2 \text{ Ом}$ ; сопротивление защитного заземления корпуса незанулённой электроустановки  $R_{\text{ззз}} = 4 \text{ Ом}$ ; сопротивление основания, на котором стоит человек,  $R_{\text{доп}} = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_h = 1 \text{ кОм}$ . Определите ток, протекающий через тело человека, прикоснувшегося к корпусу исправной занулённой электроустановки в момент замыкания, и оцените степень опасности такого действия.

1.3. На воздушной линии электропередач сети типа TN напряжением  $U_{\text{ф}} = 6,3 \text{ кВ}$  произошло замыкание фазного провода на металлическую опору. При этом воздействию тока подвергся человек, стоявший на расстоянии  $l_1 = 1,0 \text{ м}$  от металлического столбика и прикасавшийся к нему. Столбик вбит в землю на расстоянии  $l_2 = 4 \text{ м}$  от повреждённой опоры. Ток, стекающий с опоры в землю,  $I_{\text{зам}} = 50 \text{ А}$ . Для упрощения расчётов можно предположить, что подземная часть опоры имеет форму полусферы радиусом  $r_3 = 0,5 \text{ м}$ . Для упрощения примите добавочное сопротивление основания, на котором стоит человек, равным нулю. Определите напряжение прикосновения человека и оцените риск поражения электрическим током.

1.4. В ванной комнате жилого дома произошло смертельное поражение человека электрическим током. Расследование показало, что пострадавший приготовился принять душ и, стоя в ванне, взял рукой за металлический кран водоподводящей трубы. Установлено, что электрическое напряжение возникло на сливной трубе в результате контакта её за пределами ванной комнаты с электропроводом  $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ , имевшим повреждённую изоляцию. Ванна и сливная труба не имели надёжного электрического контакта с водоподводящей трубой, т. е. не было обеспечено уравнивание потенциалов. Сопротивление заземления нейтрали трансформатора  $R_0 = 8 \text{ Ом}$ ; сопротивление заземления сливной трубы  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ; сопротивление заземления водоподводящей трубы  $R_2 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_h = 1 \text{ кОм}$ . Определите ток, поразивший человека.

1.5. Стоя на земле (на токопроводящем основании), человек прикоснулся к одному из проводов однофазной двухпроводной сети, изолированной от земли, во время замыкания провода на землю. Напряжение сети (между проводами)  $U = 660 \text{ В}$ ; сопротивление изоляции проводов относительно земли (до замыкания провода на землю)  $R_1 = R_2 = 30 \text{ кОм}$ ; сопротивление замы-

кания провода на землю  $R_{\text{зам}} = 60 \text{ Ом}$ . Примите  $R_h = 1 \text{ кОм}$ , сопротивление основания, на котором стоит человек, а также ёмкость проводов относительно земли, равными нулю. Определите ток  $I_h$ , прошедший через тело человека, и оцените степень опасности в двух случаях: 1) человек касался оголённого провода, замкнувшегося на землю; 2) человек касался другого оголённого провода с неповреждённой изоляцией по отношению к земле. В каком случае опасность поражения человека током выше?

1.6. На занулённый корпус электроприёмника, подключённого к системе TN ( $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ ), произошло замыкание одной из фаз. Сопротивление нулевого защитного провода до электроприёмника  $R_N = 0,2 \text{ Ом}$ ; сопротивление фазного провода и заземления нейтрали  $R_{\text{фл}} = 0,2 \text{ Ом}$  и  $R_0 = 4 \text{ Ом}$  соответственно. Добавочное сопротивление бетонного пола, на котором стоял человек,  $R_{\text{доп}} = 0,5 \text{ кОм}$ ,  $R_h = 1 \text{ кОм}$ . Определите ток  $I_h$ , прошедший через тело человека, который прикасался к корпусу электроприёмника, а также необходимое по условиям безопасности время срабатывания максимальной токовой защиты т.

1.7. На строительной площадке рабочему было поручено закрепить груз на крюке подъёмного крана. Прикоснувшись к крюку, он замертво упал на землю. Выяснилось, что на одной из фаз воздушной линии электропередачи, проходящей вблизи крана, имелся проволочный наброс, который при ветре замыкал фазу на металлическую опору линии. Ток, стекающий в землю при замыкании фазного провода линии на тело опоры,  $I_{\text{зам}} = 25 \text{ А}$ ; удельное сопротивление земли  $\rho = 210 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Пострадавший находился между опорой и подъёмным краном, расстояния от опоры и от заземлителя крана до места нахождения пострадавшего, соответственно,  $l_1 = 4 \text{ м}$ ,  $l_2 = 8 \text{ м}$ . Добавочное сопротивление обуви пострадавшего от земли  $R_{\text{доп}} = 0,2 \text{ кОм}$ ,  $R_h = 1 \text{ кОм}$ . Определите ток, протекавший через тело пострадавшего.

1.8. В цеховой электросети произошёл обрыв нулевого защитного проводника (РЕ). Это повреждение долго оставалось незамеченным, поскольку оно обычно не вызывает нарушения нормального режима работы потребителей электроэнергии. В этот период за местом обрыва РЕ-провода в сети возникло второе повреждение – замыкание одной из фаз на корпус электродвигателя. Рабочее напряжение  $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ ; сопротивление заземления нейтрали

источника  $R_0 = 4$  Ом; сопротивление повторного заземления нулевого провода  $R_n = 11$  Ом. Добавочное сопротивление бетонного пола, на котором стоит человек,  $R_{\text{доп}} = 0,8$  кОм,  $R_h = 1$  кОм. Оцените опасность прикосновения к корпусам занулённых приёмников с неповреждённой электрической изоляцией для рабочих в аварийный период (вычислите напряжение прикосновения перед местом обрыва РЕ-провода и после него).

1.9. Определите напряжение однофазного прикосновения и ток, протекающий через тело человека, в трёхфазной сети с изолированной нейтралью и устройством защитного отключения (УЗО) в качестве дополнительной защиты от поражения электрическим током. Параметры для расчёта следующие:  $U_{\phi} = 220$  В,  $f = 50$  Гц,  $C_{\phi} = 100$  мкФ,  $R_{\phi} = 1$  МОм,  $R_{\text{доп}} = 9$  кОм,  $R_h = 1$  кОм. Сработает ли УЗО с уставкой по дифференциальному току, рассчитанному на 10 мА? Время срабатывания защиты составляет 0,07 с. Оцените риск поражения человека электрическим током.

1.10. Определите напряжение однофазного прикосновения и ток, протекающий через тело человека, при однофазном прикосновении в трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью и устройством защитного отключения в качестве дополнительной защиты от поражения электрическим током. Параметры для расчёта следующие:  $U_{\phi} = 220$  В,  $f = 50$  Гц,  $C_{\phi} = 1$  мкФ,  $R_{\phi} = 100$  кОм,  $R_{\text{доп}} = 5$  кОм,  $R_h = 1$  кОм. Сработает ли УЗО с уставкой по дифференциальному току, рассчитанному на 30 мА? Время срабатывания защиты составляет 0,07 с. Оцените риск поражения человека электрическим током.

1.11. Определите напряжение и ток, протекающий через тело человека, при однофазном прямом прикосновении в трёхфазной сети с изолированной нейтралью. Параметры для расчёта следующие:  $U_{\phi} = 220$  В,  $f = 50$  Гц,  $C_{\phi} = 1$  мкФ,  $R_{\phi} = 100$  кОм,  $R_{\text{доп}} = 5$  кОм,  $R_h = 1$  кОм. Оцените риск поражения человека электрическим током.

1.12. Определите напряжение и ток, протекающий через тело человека, при однофазном непрямом прикосновении (касании корпуса электроприёмника) в трёхфазной сети с изолированной нейтралью. Параметры для расчёта следующие:  $U_{\phi} = 220$  В,  $f = 50$  Гц,  $C_{\phi} = 1$  мкФ,  $R_{\phi} = 100$  кОм,  $R_{\text{доп}} = 1$  кОм,  $R_h = 1$  кОм. Корпус заземлён и имеет сопротивление защитного заземления

$R_{\text{заз}} = 4$  Ом. Оцените риск поражения человека электрическим током и допустимость длительного прикосновения к повреждённому корпусу электроприёмника.

1.13. В качестве защиты от электрического тока в вашей квартире вы решили использовать локальную систему уравнивания потенциалов, соединив корпус холодильника с корпусом батареи центрального отопления и другими металлическими частями, что запрещено ПУЭ (общая система уравнивания потенциалов в целом в доме не предусмотрена). При работе старого холодильника сопротивление его изоляции относительно корпуса снизилось до 10 Ом. Насколько опасно будет вам прикосновение к батарее центрального отопления и к ручке холодильника? Насколько опасно будет соседу такое прикосновение к батарее центрального отопления и к ручке исправного холодильника у себя в квартире, у которого нет системы уравнивания потенциалов, а используется зануление холодильника? Исходные данные для расчёта: трёхфазная сеть с глухозаземлённой нейтралью с фазным напряжением 220 В, частотой тока  $f = 50$  Гц, сопротивлениями и ёмкостями фаз относительно земли, соответственно,  $R_{\phi} = 100\,000$  Ом и  $C_{\phi} = 0,1$  мкФ, сопротивлением рабочего заземления источника питания  $R_0 = 4$  Ом. Примите сопротивление человека  $R_h = 1$  кОм, сопротивление растеканию тока в земле от места уравнивания потенциалов 100 Ом. Нарисуйте схему замещения и рассчитайте напряжение прикосновения и ток для двух людей. Сравните рассчитанные напряжения прикосновения с допустимыми значениями.

1.14. На занулённый корпус электроприёмника, подключённого к системе TN-C, произошло замыкание одной из фаз. Сопротивление нулевого защитного провода от источника питания до электроприёмника, расположенного на расстоянии до него, равно 100 м,  $R_N = 0,2$  Ом; сопротивление фазного провода  $R_{\phi A} = 0,2$  Ом; переходное сопротивление между фазным проводом и корпусом приёмника  $R_{\text{пер}} = 10$  Ом; сопротивление заземления нейтрали  $R_0 = 4$  Ом. Определите ток  $I_h$ , проходящий через тело человека, прикоснувшегося к корпусу неисправного приёмника и исправного занулённого электроприёмника, находящегося на расстоянии 50 м от источника питания и повреждённого приёмника. Сопротивление бетонного пола, на котором стоит человек,  $R_{\text{доп}} = 0,5$  кОм,  $R_h = 1$  кОм. Фазное напряжение  $U_{\phi} = 220$  В.

1.15. В системе TN-C произошло замыкание одной из фаз на землю. Сопротивление замыкания  $R_{\text{зам}} = 10 \text{ Ом}$ ; сопротивление заземления нейтрали  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ . Определите ток  $I_h$ , проходящий через тело человека, который прикасается к корпусу исправного занулённого электроприёмника, находящегося вне зоны растекания тока в земле (вдали от места замыкания и системы рабочего заземления). Сопротивление тела человека  $R_h = 1 \text{ кОм}$ , добавочное сопротивление бетонного пола, на котором стоит человек,  $R_{\text{доп}} = 1 \text{ кОм}$ . Рабочее напряжение  $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ .

1.16. Вы включили электрический чайник с металлическим корпусом в двухполюсную розетку без защитных контактов для зануления, дотронулись до его корпуса, и вас “ударило” электрическим током. При смене контактов вилки в розетке местами (если перевернуть вилку в розетке) воздействие тока на человека при прикосновении к корпусу чайника не ощущается. Нарисовав электрическую схему, объясните, какая неисправность имеется в чайнике, и почему так происходит? Считайте, что чайник подключён к сети с заземлённой нейтралью (система TN-C).

1.17. Вы используете электротехническое изделие класса I защиты от поражения электрическим током с рабочим напряжением 220 В. Рассчитайте параметры основной защиты, исходя из нормативных требований электробезопасности (допустимого напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело человека).

1.18. Для новой квартиры её хозяева приобрели электрическую печь. В качестве дополнительной защиты в сети с глухозаземлённой нейтралью напряжением 220 В они поставили устройство защитного отключения на дифференциальный ток 100 мА. Во время разогрева пищи в духовке отказала основная защита и поэтому дополнительная защита сработала, отключив питание на печь. Используя закон Ома, рассчитайте параметры ненадёжной основной защиты.

1.19. В однофазной системе TN-C ( $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ ) произошёл обрыв нулевого провода. За местом обрыва в квартире были включены электрическая лампочка и холодильник. Занулённый холодильник с потребляемой мощностью 300 Вт в момент обрыва находился в отключённом состоянии, а включённая лампа накаливания мощностью 75 Вт вдруг перестала гореть. Домохозяйка решила посмотреть, что происходит внутри холодильника, и взялась

за металлическую ручку. Нарисуйте электрическую схему. Определите ток  $I_h$ , проходящий через тело домохозяйки, в момент прикосновения к корпусу холодильника до момента его включения системой управления температурой холодильника и после его включения. Сопротивление заземления нейтрали  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ , тела человека  $R_h = 1 \text{ кОм}$ , добавочное сопротивление пола, покрытого линолеумом,  $R_{\text{доп}} = 50 \text{ кОм}$ .

1.20. После окончания электротехнического университета вы в качестве молодого специалиста пришли на промышленное предприятие, где недавно произошли несчастные случаи, в результате которых электротравмы получили два человека. Предложите документированную процедуру организации работ по электробезопасности, позволяющую уменьшить риск поражения электрическим током. На предприятии имеются 240 работников, руководитель, главный инженер, бухгалтер, начальник отдела охраны труда и начальник электротехнического отдела, которому подчинено 10 электриков. Стадии документированной процедуры (наименование работ, мероприятий) должны определяться согласно нормативным требованиям по электробезопасности и управлению охраной труда на предприятии или в организации.

## 2. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

### 2.1. Общие сведения

Электромагнитные поля (ЭМП) в обычной жизни человека в основном им не ощущаются, однако в некоторых случаях они способны неблагоприятно воздействовать на здоровье и вызывать различные заболевания. С развитием электро- и радиотехники, появлением новых технологий (информационных, лазерных и других) проблемы электромагнитной безопасности могут значительно возрасти, что необходимо учитывать как при проектировании, так и при использовании такой техники на работе и дома, особенно детьми.

Подробное описание существующих проблем, связанных с неионизирующим электромагнитным излучением различной природы, а также особенностей применения организационных и технических методов защиты, методики расчёта параметров ЭМП можно найти в учебном пособии В. А. Буканина, А. А. Ковбасина, В. Н. Павлова, А. О. Трусова “Электромагнитная безопасность человека”. (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2006).

Далее приведены методики приближённого расчёта, необходимого для решения некоторых практических задач, связанных с электромагнитной безопасностью.

Для точечного источника с ненаправленным излучением (рис. 2.1, а) плотность потока мощности (ППМ) или плотность потока энергии (ППЭ) на расстоянии  $l$  от него могут быть рассчитаны делением излучаемой мощности  $P$  на площадь шара:

$$\text{ППМ} = P/(4\pi l^2).$$

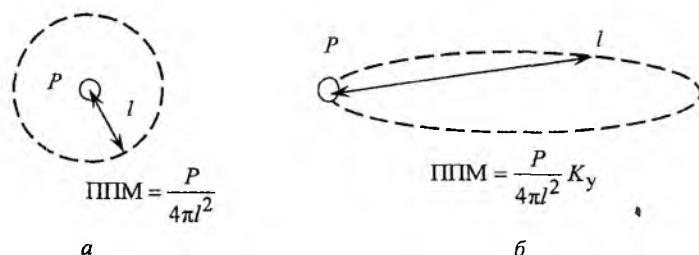


Рис. 2.1. Плотность потока мощности от источников ЭМП высокой частоты: а – ненаправленного; б – направленного

Для приближённого расчёта максимальной плотности потока мощности направленного источника (рис. 2.1, б), как правило, необходимо знать следующие параметры, выражаемые в децибелах: мощность  $P_{\text{и}}$ , дБм, и коэффициент усиления  $K_{\text{у}}$ , дБи, которые определяются выражениями

$$P_{\text{и}} = 10 \lg \frac{P}{P_{\text{эт}}}, \quad K_{\text{у}} = 10 \lg \frac{P_{\text{из}}}{P},$$

где  $P$  – мощность источника излучения;  $P_{\text{эт}} = 10^{-3}$  Вт;  $P_{\text{из}}$  – эквивалентная мощность направленного источника в рассматриваемом направлении, приведённая к мощности изотропного источника.

Чтобы решить такую задачу, необходимо сложить  $P_{\text{и}}$  и  $K_{\text{у}}$ , а полученное значение в децибелах перевести в ватты.

Абсолютное значение напряжённости магнитного поля от одиночного токопроводящего проводника (рис. 2.2, а) с силой тока  $I$  на расстоянии от его оси  $l$   $H = I/(2\pi l)$ .

Для катушки индуктивности (рис. 2.2, б) расчёт напряжённости магнитного поля более сложен, чем для одиночного проводника. Практика исследования внешних магнитных полей для таких систем показывает, что для этого требуется в основном использование математического моделирования на ЭВМ. Однако в случае, когда линии равной напряжённости внешнего магнитного поля имеют форму, близкую к шару, можно приблизительно оценить вредность воздействия ЭМП в любом месте нахождения человека, рассчитав  $H$  в точке с координатой  $z$  на оси соленоида, имеющего число витков  $n$ , длину  $L$ , радиус  $R_1$ , с помощью следующей приближённой формулы:

$$H = \frac{nI}{2L} \left[ \frac{-z + \frac{L}{2}}{\sqrt{(z - L/2)^2 + R_1^2}} + \frac{z + \frac{L}{2}}{\sqrt{(z + L/2)^2 + R_1^2}} \right].$$

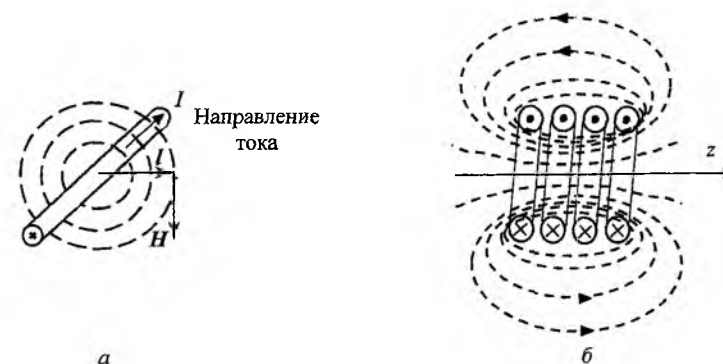


Рис. 2.2. К расчёту напряжённости магнитного поля: а – от одиночного проводника; б – от катушки

В практике проектирования индукционных установок различного технологического назначения, а также современных устройств магниторезонансной томографии, часто приходится решать задачи обеспечения электромагнитной экологии, безопасности или биоэлектромагнитной совместимости обслуживающего электротехнологического или медицинского персонала. Если для промышленных индукционных установок вопросы эти давно ре-

шаются (свидетельством тому – большое количество публикаций), то в устройствах магниторезонансной томографии (МРТ) проблема всё ещё продолжает оставаться непонятной и не исследованной в достаточной мере. В основном полагается, что МРТ для исследования больных безопасна. Тем не менее, имеются специалисты, которые считают, что в области безопасности магниторезонансных томографов не всё так хорошо.

Для иллюстрации имеющихся проблем, на которые ранее не обращалось внимания, на рис. 2.3 приведён один из “электромагнитных портретов” зон вредного и опасного влияния внешнего магнитного поля, создаваемого магниторезонансным томографом, питаемым постоянным током. Из рисунка видно, что граница вредной зоны может находиться на расстоянии более 2 м от МРТ. Однако при движении человека магнитное поле уже нельзя считать постоянным, для которого нормы на индукцию или напряжённость магнитного поля относительно велики, – оно становится переменным, что значительно увеличивает допустимое расстояние.

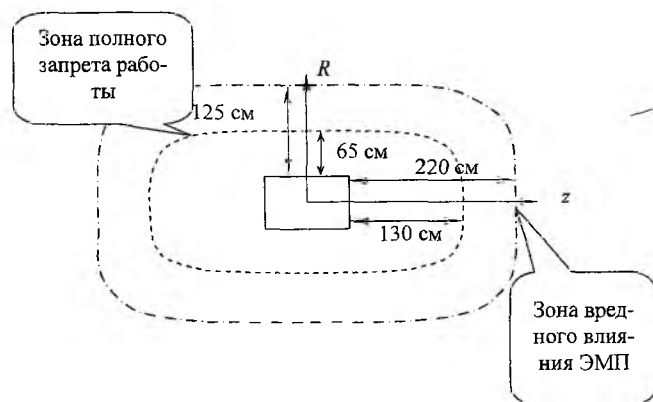


Рис. 2.3. “Электромагнитный портрет” зон вредного и опасного влияния МРТ с индукцией 1 Тл

В качестве наиболее простого и доступного метода снижения интенсивности ЭМП во многих случаях применяется экранирование источников электромагнитных излучений. При этом электромагнитное поле при падении на экран может отражаться (для идеального проводника), т. е. при удельном сопротивлении материала экрана, равном нулю, оно не проникает в экран,

полностью от него отражаясь), поглощаться с выделением энергии или проходить через экран с несколько изменёнными параметрами. Кроме того, первичное ЭМП, которое существовало без экрана, тоже значительно изменяется, поскольку в последнем за счёт наведённых токов появляется поле реакции.

Для определения полезности экрана введён такой показатель, как коэффициент экранирования, который определяется отношением составляющих ЭМП после экранирования ( $F_1$ ) и до экранирования ( $F_0$ ) (может принимать значения от 0 до 1):

$$K_э = F_1 / F_0.$$

Эффективность экранирования является обратной величиной коэффициента экранирования и определяется в относительных единицах по соответствующим составляющим ЭМП:

$$\mathcal{E}_э = H_0 / H_1, \mathcal{E}_э = E_0 / E_1, \mathcal{E}_э = p_0 / p_1.$$

Часто эффективность экранирования (или экранное затухание) выражают в децибелах, находя их по следующим формулам:

$$\mathcal{E}_э = 20 \lg(H_0 / H_1), \mathcal{E}_э = 20 \lg(E_0 / E_1).$$

Точный аналитический расчёт эффективности экранирования оболочками является достаточно сложной задачей из-за большого числа параметров, электрофизических свойств материалов экранов и других причин.

Лазерное излучение представляет собой вид электромагнитного излучения, генерируемого в оптическом диапазоне длин волн 0,1...1000 мкм. Отличие его от других видов излучения заключается в монохроматичности, когерентности и высокой степени направленности. Благодаря малой расходимости луча лазера плотность потока мощности может достигать очень больших значений –  $10^{16} \dots 10^{17}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Лазер (Laser – Light amplification by stimulated emission of radiation) – устройство, предназначенное для выработки и усиления электромагнитной энергии оптического диапазона частот с использованием процесса управляемой индукционной эмиссии. Он работает на принципе индуцированного излучения, получаемого при оптической накачке (к примеру, воздействием импульсов света) термически неравновесной (активной) среды, в качестве

которой служат диэлектрические кристаллы, стекло, газы, полупроводники и плазма. Отдельные атомы таких материалов при падении на них фотона обладают свойствами перехода с верхнего энергетического уровня на нижний уровень с испусканием двух фотонов, индуцированных с теми же частотой, фазой, поляризацией и направлением распространения.

Согласно ГОСТ Р 50723–94 лазеры классифицируются следующим образом (табл. 3.1)

Таблица 3.1

Класс	Характеристика лазерных изделий (ЛИ)
1	ЛИ, безопасные при предполагаемых условиях эксплуатации
2	ЛИ, генерирующие видимое излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм. Защита глаз обеспечивается естественными реакциями защиты глаз от воздействия непрерывного излучения, включая рефлекс мигания. Мощность лазеров класса 2 ограничена 1 мВт (длительность излучения $\geq 0,25$ с)
3А	ЛИ, безопасные для наблюдения незащищённым глазом. Для ЛИ, генерирующих излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, защита обеспечивается естественными реакциями, включая рефлекс мигания. Для других длин волн опасность для незащищённого глаза не больше чем для класса 1. Мощность видимого излучения непрерывных лазеров подкласса 3А не должна превышать 5 мВт (т. е. пятикратного значения для класса 2), а облучённость – $25 \text{ Вт/м}^2$ . Непосредственное наблюдение пучка, испускаемого ЛИ класса 3А с помощью оптических инструментов (например, бинокль, телескоп, микроскоп), может быть опасным
3В	Непосредственно наблюдение таких ЛИ всегда опасно. Видимое рассеянное излучение безопасно при соблюдении определённых условий: минимальное расстояние для наблюдения между глазом и экраном 13 см, максимальное время наблюдения 10 с. Непрерывная мощность таких лазеров не может превышать 0,5 Вт, а энергетическая экспозиция – $100 \text{ кДж/м}^2$
4	ЛИ, создающие опасное не только прямое, но и рассеянное излучение. Они могут вызвать поражение кожи, а также создать опасность возникновения пожара. При их использовании следует соблюдать особую осторожность

Лазеры широко применяются в научных исследованиях (физика, химия, биология и др.), в медицине (хирургия, офтальмология и др.), а также в технике (связь, локация, измерительная техника, голография), при проведении различных исследований вещества, термообработке, сварке, резке, при

изготовлении отверстий малого диаметра и др. Значения плотности потока мощности в различных сферах применения составляют  $10^7 \dots 5 \cdot 10^9$  – для связи, локации, голографии, измерительной техники, термообработки, пайки, сварки и т. д.;  $5 \cdot 10^9 \dots 8 \cdot 10^9$  – для подчистки слоёв при производстве микросхем, испарения тонких плёнок;  $8 \cdot 10^9 \dots 7 \cdot 10^{11}$  – для прошивки отверстий, резки и раскроя материалов;  $10^{12} \dots 10^{13} \text{ Вт/м}^2$  – для решения специальных задач.

При решении практических задач для принятия решения о средствах и методах защиты от опасных и вредных производственных факторов с позиций безопасности в первую очередь требуется определить класс лазера или если класс лазера известен (указан на нём), оценить его опасность.

## 2.2. Основные вопросы раздела занятий

2.1. Виды действия электромагнитных полей на человека – тепловое, нетепловое, соматическое, генетическое.

2.2. Принципы нормирования интенсивности электромагнитных полей радиочастот на рабочем месте. Понятия теплового порога и допустимой энергетической нагрузки (экспозиции) на организм человека.

2.3. Технические и организационные защитные мероприятия от электромагнитных полей радиочастот – защита углом, расстоянием и с использованием экранов. Индивидуальные средства защиты работающих.

2.4. Электромагнитные поля промышленной частоты. Виды воздействия на организм человека. Защита – виды, способы и особенности расчёта. Индивидуальные средства защиты работающих.

2.5. Учёт длительности пребывания человека в электромагнитном поле. Понятие о кратковременном воздействии.

2.6. Учёт воздействия непрерывного поля и поля сканирующих антенн.

2.7. Лазерное излучение. Охватываемый данным видом излучения частотный диапазон ЭМП.

2.8. Органы человека, подверженные действию лазерного излучения.

2.9. Вред и опасность лазерного излучения для человека.

2.10. Основные и сопутствующие опасности, связанные с работой лазеров. Принципы построения системы защиты от лазерных излучений

2.11. Нормирование допустимых уровней лазерного излучения.

2.12. Различия в нормировании лазерного излучения разных частотных диапазонов.

2.13. Классификация лазеров по степени опасности воздействия на человека. Виды защитных мероприятий для работающих с ними. Индивидуальные средства защиты работающих.

2.14. Излучение видимого ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов волн.

2.15. Природные и техногенные источники электромагнитного излучения.

### 2.3. Задания по теме

2.1. Вы пользуетесь сотовым телефоном, держа во время разговора его на расстоянии 5 см от виска. Частота излучения 900 МГц. Излучаемая мощность  $P = 600$  мВт. Найдите максимально допустимое время работы с телефоном, исходя из принятых норм для производственной деятельности. Примите, что источник ЭМП ненаправленный.

2.2. Завод приобрел 100 радиотелефонов мощностью по 4 Вт и частотой 900 МГц. Определите безопасное расстояние до головы пользователя, исходя из принятых норм для производственной деятельности (время пользования в течение рабочей смены не более 1 ч), считая, что источник ЭМП ненаправленный.

2.3. На крыше жилого здания установлена радиопередающая антенна. Частота излучения составляет 450 МГц. Мощность излучения  $P = 100$  Вт. Источник излучения ненаправленный (точечный). Высота самой антенны 3 м. Рассчитав плотность потока мощности, определите, вредно ли жить на последнем этаже такого здания, если высота этажа составляет 2,5 м (чердак отсутствует), а перекрытие крыши ослабляет мощность излучения сигнала в три раза.

2.4. Мощность излучения сетевой карты Wi-Fi частотой 2,4 ГГц в компьютере у вас на работе  $P = 23$  дБм, на стене на расстоянии 1 м от вашего стула расположена выносная антенна с коэффициентом усиления в сторону вашего рабочего места  $K_y = 9$  дБи. Сколько времени вы можете работать за своим компьютером с точки зрения безвредного воздействия ЭМП?

2.5. Мощность излучения сетевой карты Wi-Fi частотой 2,4 ГГц в ноутбуке дома  $P = 10$  дБм, коэффициент усиления в вашу сторону  $K_y = 5$  дБи. Вы решили использовать защитную одежду, имеющую эффективность экранирования  $\mathcal{E}_3 = 10$  дБ. Какое время можно работать за ноутбуком?

2.6. Разработчики мониторов на базе электронно-лучевой трубки гарантируют, что дрожания изображения не будет при индукции внешнего магнитного поля частотой 50 Гц, равной 400 нТл. Вы установили такой монитор на расстоянии до кабеля, равном 2 м (по кабелю протекает уравнивающий ток 10 А). Будут ли возникать проблемы для здоровья пользователя ЭВМ, который располагается на расстоянии 0,8 м от монитора и 2,8 м от кабеля, связанные с низкочастотным дрожанием изображения монитора, и вредно ли это магнитное поле для человека?

2.7. Катушка магниторезонансного томографа имеет следующие параметры: длину 1 м, радиус 0,5 м, число витков 60. Сила постоянного тока в катушке (частота равна нулю), протекающего в момент исследования пациента, 26 500 А. Рассчитайте индукцию и напряженность магнитного поля на оси катушки в районе головы пациента и на расстоянии 2 м от торцевой части катушки, где находится обслуживающий персонал. Сравните полученное значение с предельно допустимым уровнем для персонала, находящегося на этом расстоянии в момент исследования.

2.8. Какое количество времени человек может находиться под воздействием электромагнитного поля микроволновой печи СВЧ-диапазона (например, 2,45 ГГц), работая в производственных условиях, если плотность потока энергии (ППЭ) в месте воздействия составляет 1 Вт/м<sup>2</sup>?

2.9. Определите класс опасности лазера, если длина волны составляет  $\lambda = 0,555$  мкм, энергия одного импульса  $W = 40$  Дж, длительность одного импульса  $\tau_{\text{и}} = 0,25$  с, частота повторения импульсов  $f_{\text{пов}} < 1$  Гц, радиус излучения пучка  $r = 0,2$  см.

## 3. ОСВЕЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

### 3.1. Общие сведения

Искусственное освещение, с которым людям приходится жить и работать, чаще всего не соответствует тем требованиям, которые к нему предъявляются. В результате возникают проблемы, связанные с повышенным напряжением зрительных анализаторов, усталостью, снижением производительности труда и заболеванием глаз или нервной системы. Среди основных причин, приводящих к этому, можно выделить плохие характеристики осветительных систем и источников света, просчеты в проектировании освещения и другие.

Чтобы лучше понять требования современных норм по освещению, которые отражены в своде правил СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение (актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*), рекомендуется воспользоваться учебным пособием В. А. Буканина, В. Н. Павлова и А. О. Трусова “Безопасные и эффективные системы освещения”. (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2002). В нём подробно рассмотрены проблемные вопросы, описаны характеристики источников света, даются методики приближённого расчёта систем освещения и организации рабочих мест.

Чаще всего разработчиков интересует определение числа необходимых светильников или уровень освещённости на рабочей поверхности. При расчёте задач и предлагаемых заданий можно использовать следующую методику приближённого расчёта. Для прямоугольной комнаты длиной  $a$ , шириной  $b$  и расстоянием от рабочей поверхности до светильника  $h$  определяется “индекс помещения”:  $\varphi = ab/h(a + b)$ . Необходимое количество светильников может быть вычислено по формуле

$$N = Eab/(\Phi \eta K_3),$$

где  $E$  – требуемая средняя освещённость, лк;  $\Phi$  – световой поток источника, лм;  $\eta$  – коэффициент использования, зависящий от индекса помещения и отражающих свойств его поверхностей (для использования одного из видов светильников см. табл. 3.1);  $K_3$  – коэффициент запаса.

Таблица 3.1

Элемент	Коэффициент отражения										
Потолок	0,8		0,5		0,7		0,8		0,5...0,3		0,0
Стена	0,5...0,3		0,5...0,3		0,5		0,5...0,3		0,5...0,3		0,0
Пол	0,3					0,2		0,1		0,0	
Индекс φ:	η										
0,60	0,36	0,30	0,34	0,30	0,35	0,34	0,29	0,33	0,29	0,25	
0,80	0,46	0,40	0,44	0,39	0,44	0,43	0,38	0,42	0,37	0,34	
1,0	0,51	0,46	0,49	0,44	0,49	0,48	0,43	0,46	0,42	0,38	
1,25	0,58	0,53	0,55	0,51	0,55	0,54	0,50	0,52	0,48	0,45	
1,50	0,62	0,57	0,59	0,55	0,58	0,57	0,53	0,55	0,52	0,48	
2,00	0,67	0,62	0,63	0,59	0,62	0,60	0,57	0,58	0,55	0,52	
2,50	0,71	0,67	0,66	0,63	0,66	0,63	0,61	0,61	0,58	0,55	
3,00	0,75	0,71	0,69	0,67	0,68	0,65	0,63	0,63	0,61	0,58	
4,00	0,77	0,74	0,71	0,69	0,70	0,67	0,69	0,65	0,62	0,60	
5,00	0,80	0,77	0,73	0,71	0,72	0,68	0,67	0,66	0,64	0,62	

Метод общего потока позволяет вычислять среднее значение освещённости на горизонтальной поверхности; количество светильников при регулярном расположении; освещение помещений прямоугольной формы.

Этим методом можно решить и обратную задачу определения освещённости в помещении для сравнения с нормативными параметрами по требованиям свода правил СП 52.13330.2011.

### 3.2. Основные вопросы раздела занятий

3.1. Светотехнические характеристики и показатели, характеризующие источники света и объекты наблюдения.

3.2. Различия в работе человека в отражённом свете и с самосветящимися объектами.

3.3. Основные виды производственного освещения. Естественное и искусственное освещение, общее и местное освещение, комбинированное и совмещённое освещение. Рабочее, аварийное и эвакуационное освещение. Коэффициенты естественного освещения и коэффициент солнечного климата. Нормируемые показатели для этих видов освещения.

3.4. Точность зрительной работы и принципы нормирования освещённости рабочего места. Особенности человеческого зрения и их учёт при проектировании систем освещения.

3.5. Освещённость и яркость. Разница. Для оценки каких условий используются эти показатели?

3.6. Виды освещения. Используемые источники света. Их достоинства и недостатки. Понятия цветовой температуры оптического излучения.

3.7. Принципы нормирования параметров освещения. Освещённость, блескость, неравномерность освещённости по площади, коэффициент пульсаций светового потока, показатель ослеплённости. Другие нормируемые параметры освещения.

3.8. Способы борьбы с пульсацией светового потока. Допустимые уровни коэффициента неравномерности освещения во времени.

3.9. Нормируемые характеристики безопасного освещения. Критерии оптимальности и способы их достижения при проектировании безопасных систем освещения.

3.10. Особенности систем освещения для дисплейных классов, офисов и помещений проектных организаций, для помещений вузов и школ.

### 3.3. Задания по теме

3.1. Вы работаете на ЭВМ в офисе, имеющем размеры  $4 \times 5 \text{ м}^2$ . Высота помещения составляет 3 м. Для общего освещения используются четыре потолочных светильника по четыре трубчатые люминесцентные лампы, каждая мощностью 18 Вт. Светоотдача ламп составляет 47 лм/Вт. Расчётным путём определите освещённость на рабочем месте, если стены и потолок имеют коэффициенты отражения светового потока 0,85, а пол – 0,3. Оцените, соответствует ли освещение нормативным требованиям?

3.2. Энергоаудит, проведённый в административном здании, показал, что используемые для освещения бухгалтера две красивые люстры по три лампы накаливания мощностью 60 Вт не обеспечивают требуемых норм по освещённости при работе с ЭВМ. Используемый светильник местного освещения позволяет увеличить освещённость до 1200 лк, однако создаёт пульсации, коэффициент которых составляет 34 %. Проведите расчёт и примите решение о приобретении новых экономичных ламп взамен ламп накаливания, если помещение имеет размеры  $5 \times 5 \text{ м}^2$ . Высота помещения составляет 3 м. Светоотдача ламп накаливания составляет 13 лм/Вт, а компактных люминесцентных ламп – 65 лм/Вт. При расчёте примите, что стены и потолок имеют коэффициенты отражения светового потока 0,8, а пол – 0,3. Выберите мощность компактных люминесцентных ламп и оцените годовую экономию их использования при среднем времени работы 1320 ч/год.

## 4. ЗАЩИТА ОТ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

### 4.1. Общие сведения

В России и в других странах многие рабочие места не соответствуют гигиеническим нормам по шуму и вибрации. При работе в условиях повышенного шума (уровень звука свыше 90 дБА) развивается профессиональное заболевание “неврит слуховых нервов” и патологические изменения, рассматриваемые как “шумовая” болезнь. Вибрации могут привести к вибрационной болезни (поражение нервных окончаний мышечной ткани и суставов). Кроме того, шум и вибрация вызывают ряд других заболеваний, в особенности нервной и сердечнососудистой систем.

Для ограничения воздействия виброакустических факторов в обычных и в производственных условиях имеются санитарные нормы, строительные

нормы и правила, государственные стандарты, основными из которых являются: СН 2.2.4/2.1.8.566-96 “Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий”, СН 2.2.4/2.1.8.562-96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”, Свод правил СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 и др. Из учебных пособий и учебников, в которых подробно описаны проблемы, создаваемые виброакустическими факторами, и пути их решения, можно рекомендовать следующие издания: Акустическая безопасность: учеб. пособие / под ред. В. Н. Павлова (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2004) и Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. (М.: Логос, 2010).

Для решения практических задач, связанных с шумом, чаще всего требуется определить параметры шума от нескольких источников, параметры шума от одного источника, правильно учесть шумовую помеху или фоновый шум, рассчитать шумовые характеристики при использовании различных методов и средств защиты. Далее приведены основные расчётные формулы, которые используются при выполнении заданий.

Сложение уровней звука (или уровней звукового давления) одинаковых источников выполняется по формуле

$$L_{\Sigma} = L_1 + 10 \lg n,$$

где  $L_1 = L_2 = \dots = L_n$  – уровень звука (или уровень звукового давления) одного из источников, дБА (дБ);  $n$  – число источников.

Если источники имеют различные уровни звука (или уровни звукового давления), то сложение их осуществляется по формуле

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right),$$

где  $L_i$  – уровни звука (или уровни звукового давления)  $i$ -го источника шума, дБА (дБ).

Задача вычитания уровней звукового давления и уровней звука также имеет большое практическое значение, особенно при разработке мероприятий по шумоглушению. Например, если звуковое поле складывается из нескольких источников, то каким будет уровень звука (уровень звукового давления) при отключении одного из них. Такую операцию нетрудно выполнить, воспользовавшись табл. 4.1.

Таблица 4.1

Параметр	Значение					
Разность двух вычитаемых источников, дБ (дБА)	10	6...9	5...4	3	2	1
Поправка к более высокому уровню (-Δ), дБ (дБА)	0	1	2	3	5	7

По табл. 4.1 определяем поправку. Вычтя из суммарного уровня эту поправку, находим искомый уровень звука источника.

Для определения уровней звукового давления одного из двух источников шума, например  $L_1$ , может быть использована формула

$$L_1 = 10 \lg(10^{0,1L_\Sigma} - 10^{0,1L_2}),$$

где  $L_\Sigma$  – суммарное значение уровня звукового давления двух источников шума;  $L_2$  – уровень звукового давления второго источника шума, дБ

Доза шума  $D$ ,  $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$ , – интегральная величина, учитывающая акустическую энергию, воздействующую на человека, за определённый период  $T$ :

$$D = \int_0^T p_A^2(t) dt,$$

где  $T$  – продолжительность воздействия шума;  $p_A(t)$  – текущее значение среднеквадратического звукового давления с учётом коррекции  $A$  шумомера.

Относительная доза шума, %:  $D_{\text{отн}} = (D/D_{\text{доп}}) \cdot 100$ , где  $D_{\text{доп}}$  – допустимая доза шума (для  $L_A = 80$  дБА и  $T = 8$  ч:  $D_{\text{доп}} = 0,356^2 \cdot 8 = 1 \text{ Па}^2 \cdot \text{ч}$ ). Для уровня звука 80 дБА при  $T = 8$  ч  $D_{\text{отн}} = 100$  %, при  $T = 4$  ч  $D_{\text{отн}} = 50$  %.

Воздействие виброакустических факторов на пути распространения от источника до человека можно уменьшить, снизив величину этого воздействия за счёт увеличения расстояния до источника, использования кожухов и экранов и других средств защиты или же дозу этого энергетического воздействия, уменьшив время. Принцип защиты расстоянием можно продемонстрировать на примере расчёта изменения уровня звукового давления от точечного источника при увеличении расстояния в два раза ( $l_2 = 2l_1$ ):

$$L_2 = L_1 - 10 \lg \frac{l_2^2}{l_1^2} = L_1 - 6.$$

Интенсивность звука равна акустической мощности, делённой на площадь сферы (или полусферы), по которой звук распространяется, т. е. обрат-

но пропорциональна квадрату расстояния, тогда снижение его уровня будет составлять 6 дБ с каждым удвоением расстояния. Указанная формула справедлива, если пренебречь затуханием шума в воздухе.

Для линейного источника (к примеру, от транспорта, проезжающего по длинной улице) при увеличении расстояния в два раза ( $l_2 = 2l_1$ )

$$L_2 = L_1 - 10 \lg \frac{l_2}{l_1} = L_1 - 3.$$

Таким образом, снижение уровня звукового давления с каждым удвоением расстояния будет составлять не 6, а только 3 дБ.

Ослабление звука, дБ, вызванное затуханием в воздухе, определяется соотношением

$$A_\alpha = \alpha l / 100,$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания звука в атмосфере, дБ/100 м (табл. 4.2),  $l$  – расстояние от источника звука до приёмника, м.

Таблица 4.2

Температура, °С	Относительная влажность, %	Коэффициент затухания звука в атмосфере, дБ/100 м при частоте, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
30	20	0,06	0,18	0,37	0,64	1,40	4,40
	50	0,03	0,10	0,33	0,75	1,30	2,50
	90	0,02	0,06	0,24	0,70	1,50	2,00
20	20	0,07	0,15	0,27	0,62	1,90	6,70
	50	0,04	0,12	0,28	0,50	1,00	2,80
	90	0,02	0,08	0,26	0,56	0,99	2,10
10	20	0,06	0,11	0,29	0,94	3,20	9,00
	50	0,04	0,11	0,20	0,41	1,20	4,20
	90	0,03	0,10	0,21	0,38	0,81	2,50
0	20	0,05	0,15	0,50	0,60	2,10	6,70
	50	0,04	0,08	0,19	0,64	1,40	4,40
	90	0,03	0,08	0,15	0,36	1,10	4,10

Если источник звука находится в лесу, то коэффициент затухания, дБ/100 м, определяется экспериментальной зависимостью  $A_\alpha = f^{1/3}$ , где  $f$  – частота звука, Гц.

Распределение звукового поля в пространстве характеризуют индексом направленности  $ИН = 10 \lg(Q)$ , дБ, или коэффициентом концентрации звука  $Q = 10^{ИН/10}$ .

Уровень звукового давления, дБ, в помещении для точек, удалённых от источника звука на расстояние, большее удвоенного максимального габаритного размера источника, определяется формулой

$$L = L_W + 10 \lg\left(\frac{Q}{4\pi l^2} + \frac{4}{B}\right),$$

где  $L_W$  – октавный уровень звуковой мощности, излучаемый источником шума, дБ;  $Q$  – коэффициент концентрации;  $B = A/(1 - \alpha_{ср})$ ,  $m^2$  – постоянная помещения ( $A = \alpha_{ср} S_{пов}$ ,  $\alpha_{ср}$  – средний коэффициент звукопоглощения внутренних помещений,  $S_{пов}$  – площадь внутренних помещений,  $m^2$ ).

#### 4.2. Основные вопросы раздела занятий

4.1. Звуковые колебания. Источники звуковых колебаний. Слышимый и нормируемый частотный диапазоны звука. Разница между звуком и шумом.

4.2. Количественные характеристики, используемые при оценке уровней звука и шума. Особенности органов слуха человека и особенности центральной нервной системы человека по обработке акустических сигналов. Кривые равной громкости.

4.3. Опасность и вред производственного шума. Понятие болевого порога шума.

4.4. Нормирование шума. Понятие предельного спектра шума. Различия в предельных спектрах шума для различных видов деятельности.

4.5. Понятия уровня звука и некорректность его применения для нормирования тонального шума.

4.6. Понятие дозы шума и ее применение при нормировании шумовых характеристик работы.

4.7. Методы нормирования шума в источниках его образования. Разница в понятиях предельно допустимой шумовой характеристики источника шума и технически достижимой шумовой характеристики источника шума.

4.8. Средства снижения шума на рабочих местах – активные и пассивные методы защиты. Индивидуальные средства защиты работающих.

4.9. Способы защиты от шума при использовании экранов и кожухов. Используемые в их конструкциях материалы. Частотные свойства материалов и конструкций для снижения шума.

4.10. Природные и техногенные источники ультразвуковых и инфразвуковых колебаний. Особенности распространения этого вида колебаний в среде. Параметры, характеризующие интенсивность инфразвука и ультразвука на рабочих местах.

4.11. Опасность ультразвуковых и инфразвуковых колебаний. Нормирование их интенсивности и способы защиты.

4.12. Физическая природа вибраций. Отличие в восприятии человеком вибраций от шума. Взаимная преобразуемость вибрационных и звуковых колебаний.

4.13. Параметры, характеризующие интенсивность вибрационных колебаний на рабочих местах.

4.14. Опасности и вред, связанные с воздействием вибраций на организм человека.

4.15. Методы нормирования вибраций. Способы и аппаратура для контроля уровней вибрации на рабочих местах.

4.16. Принципы снижения интенсивности вибраций и технические средства защиты от вибраций. Индивидуальные средства защиты работающих.

#### 4.3. Задания по теме

4.1. Вы занимаетесь программированием. В вашем рабочем помещении установили три принтера, уровень звука каждого из которых по паспортным данным составляет 45 дБА. Определите возможный уровень звука, создаваемый одновременно работающими принтерами. Сравните его с нормой.

4.2. Вы купили принтер, на который не нашли технические данные по уровню звука. Поставив этот принтер на своем рабочем месте, вы измерили уровень звука при включённом принтере ( $L_1 = 53$  дБА) и при выключенном принтере ( $L_2 = 50$  дБА). Найдите уровень звука, создаваемого непосредственно самим принтером. Если шумовой фон будет меньше, чем ранее (к примеру, 30 дБА), будут ли обеспечены нормативные требования, учитывая то, что вы занимаетесь программированием.

4.3. Вы провели рабочий день сначала на своём рабочем месте, где эквивалентный уровень звука в течение 4 ч составил 40 дБА, а затем пошли в

шумный цех и оставшиеся 4 ч находились там при эквивалентном уровне звука 90 дБА. Найдите дозу шума и сравните с предельно допустимым значением.

4.4. В свободном звуковом поле находится точечный источник шума. На расстоянии 10 м от него измеренный уровень звука составляет 56 дБА. Какой уровень звука будет на расстоянии 20 м от него?

4.5. Для оценки шума, создаваемого транспортом, измерение проводят на расстоянии 7,5 м от середины первой полосы движения. Предположим, что измеренный эквивалентный уровень звука составил 80 дБА. Определите ожидаемый эквивалентный уровень звука на расстоянии 15 и 30 м от дороги в свободном звуковом поле с учётом того, что источник шума не точечный, а линейный (шум зависит не от квадрата расстояния, а от расстояния). Потери звуковой энергии в воздухе можно пренебречь.

4.6. Для оценки шума, создаваемого транспортом, измерение проводят на расстоянии 7,5 м от середины первой полосы движения. Измеренный эквивалентный уровень звука составил 80 дБА. Определите ожидаемый эквивалентный уровень звука на расстоянии 15 и 30 м от дороги непосредственно в 2 м от ограждающей конструкции дома с учётом его полного отражения от дома и того, что источник шума не точечный, а линейный (шум зависит не от квадрата расстояния, а от расстояния). Потери звуковой энергии в воздухе можно пренебречь.

4.7. В помещениях измерены уровни звуковых давлений, приведённые в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Номер варианта	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	95	85	78	67	58	60	55	30	25
2	110	100	90	88	85	80	70	70	71
3	120	100	93	85	73	74	70	70	68
4	90	80	70	60	54	45	40	38	30

1) По результатам измерений постройте спектрограммы шума.

2) Нанесите на спектрограммы соответствующие этим работам предельные спектры и ответьте на вопрос, в котором из этих помещений удовлетворяются требования по шуму:

- для программистов;
- для конструкторов;
- для работающих на участке точной сборки;
- для выполнения всех видов работ в производственных помещениях.

4.8. Определите длину звуковой волны в одной из сред из табл. 4.4 (на частоте, указанной преподавателем):

Таблица 4.4

Параметр	Среда			
	Воздух при температуре 0 °С	Вода при температуре 15 °С	Сталь	Стекло
Скорость звука, м/с	330	1400	5000	5500
Значения задаваемых частот, Гц	1000	2000	4000	8000
	250	4000	8000	32
	500	32	500	63
	63	125	1000	250
	8000	250	2000	1000

4.9. Рассчитайте общий уровень звука либо общий уровень в двух, трёх или четырёх полосах (по указанию преподавателя), если в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц он равен 72 дБ, 125 Гц – 76 дБ, 250 Гц – 80 дБ, 500 Гц – 82 дБ, 1000 Гц – 80 дБ, 2000 Гц – 83 дБ, 4000 Гц – 84 дБ, 8000 Гц – 74 дБ.

4.10. Каковы верхняя и нижняя граничные частоты октавных полос со следующими среднегеометрическими частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16 000, 32 000, 64 000, 128 000 Гц?

4.11. Каковы граничные частоты 1/3 октавных полос, среднегеометрические частоты которых равны 160, 200, 250, 320, 400, 500, 1000, 2000 Гц?

4.12. Уровень звукового давления на расстоянии 5 м от точечного источника равен 98 дБ. Каков он на расстоянии 10, 15, 20, 25 м, если не учитывать потери звуковой энергии в воздухе?

4.13. Какой результат даёт измерение уровня звука по шкале А, если шум будет иметь одну, две или три составляющие следующего спектрального состава и уровня (табл. 4.5)? Сравните спектрограммы и уровни звука по варианту а) с ПС-55 и соответствующим ПС-55 допустимому уровню звука; по вариантам б), в), г) – с ПС-75 и соответствующими ему допустимыми уровнями звука.

Таблица 4.5

Вариант	Параметр			
а)	Среднегеометрическая частота $f$ , Гц	125	500	1000
	Уровень звукового давления $L$ , дБ	70	63	60
б)	Среднегеометрическая частота $f$ , Гц	125	250	500
	Уровень звукового давления $L$ , дБ	87	82	78
в)	Среднегеометрическая частота $f$ , Гц	63	250	8000
	Уровень звукового давления $L$ , дБ	94	82	70
г)	Среднегеометрическая частота $f$ , Гц	63	125	250
	Уровень звукового давления $L$ , дБ	94	87	78

4.14. Определите ширину полосы пропускания 1/3 октавы со среднегеометрическими частотами 80, 1000, 2000, 5000, 8000 Гц.

4.15. Определите уровень звукового давления на расстоянии  $l$  от точечного источника шума, указанного преподавателем, для одного из вариантов: а) если на расстоянии 1 м он равен 100 дБ; б) на расстоянии 2 м – 58 дБ; в) на расстоянии 0,5 м – 70 дБ.

4.16. Электрический мотор создаёт в свободном пространстве уровень звукового давления 92 дБ. Индекс направленности на  $90^\circ$  от центральной линии 5 дБ, на  $180^\circ$  – 2 дБ. Рассчитайте звуковое давление по этим направлениям на расстояниях 5, 10 и 15 м.

4.17. Средний скорректированный уровень по 12 измерениям на расстоянии 10 м от дизельной установки 98,3 дБА. На расстоянии 10 м от неё и под углом  $90^\circ$  уровень звука 103,5 дБА. Каков индекс направленности на  $90^\circ$ ?

4.18. Уровень скорректированной звуковой мощности кондиционера равен 110 дБА. Каков уровень звукового давления, создаваемый кондиционером, если он расположен: а) на стене, б) на стене вблизи пола, в) в углу комнаты.

4.19. Корректированный уровень звуковой мощности маленького компрессора 103 дБА. Каков уровень звука на расстоянии 7 м:

а) если компрессор расположен в углу комнаты,

б) если компрессор расположен на пересечении пола и стены?

Сопоставьте полученные значения с допустимым уровнем звука, соответствующим ПС-75.

4.20. Уровень звукового давления на расстоянии 50 м от мощного вентилятора 110 дБ на частоте 500 Гц и 90 дБ на частоте 4000 Гц. Каков уровень

звукового давления на расстоянии 500 м при  $t = 20^\circ\text{C}$  и относительной влажности 50 %?

4.21. Уровень акустической мощности, излучаемой сиреной, если считать её точечным источником, составляет 140 дБ на частоте 2000 Гц. Определите уровень звукового давления, создаваемого на расстоянии 1, 2, 20 м в открытом пространстве и в лесу.

4.22. Грибники в лесу перекликаются. Какой уровень звукового давления должен создавать кричащий на расстоянии 1 м от себя, чтобы его услышали на расстоянии 25, 40, 100 м? Считаем, что основная составляющая крика приходится на частоту 2000 Гц, а уровень, который может быть услышан в лесу на этой частоте, 25 дБ.

4.23. Определите дневную дозу шума для оператора машины, если шум постоянен и составляет 95 дБА, а допустимый уровень равен 80 дБА.

4.24. Определите дневную дозу шума для персонала, обслуживающего насос, излучающий постоянный шум 88 дБА. Допустимое значение 80 дБА.

4.25. Определите дневную дозу шума для рабочего, который подвергается воздействию шума в 90 дБА в течение 2 ч и 95 дБА в течение 6 ч. Пороговое значение 80 дБА.

4.26. Определите дозу шума для рок-музыкантов, подвергающихся воздействию собственной музыки в 100 дБА в течение 3 ч, если допустимый уровень звука равен 55 дБА при времени воздействия 6 ч.

4.27. Определите дозу шума для оператора ПЭВМ, подвергавшегося воздействию шума в 75 дБА в течение 4 ч и 70 дБА в течение 4 ч. Допустимый уровень звука 50 дБА при времени воздействия 8 ч.

4.28. Стена со звукоизоляцией 40 дБ на частоте 500 Гц имеет окно со звукоизоляцией 20 дБ на той же частоте, занимающее 10 % площади стены. Какова звукоизоляция стены с окном?

4.29. Стена площадью  $1155 \times 330 \text{ см}^2$  имеет звукоизоляцию 48 на частоте 1000 Гц и две двери площадью 82,5 и  $251 \text{ см}^2$  каждая со звукоизоляцией 25 дБ. Какова звукоизоляция стены с дверями?

4.30. Звукоизоляция акустической панели 35 дБ на частоте 4000 Гц. Отверстие занимает 2 % от плиты и должно быть открыто. Какова звукоизоляция панели с отверстиями?

4.31. Какова критическая частота для стали толщиной 0,075 м, если скорость звука в стали 4800 м/с, а в воздухе – 330 м/с?

4.32. Рассчитайте для свинцовой пластины толщиной 0,009 м и поверхностной массой 125 кг/м<sup>2</sup> звукоизоляцию на частотах 1000 Гц, 500 Гц, а также критическую частоту.

4.33. Рассчитайте звукоизоляцию сплошного бетона толщиной 0,24 м на частотах: а) 250 Гц; б) 1000 Гц; в) 4000 Гц.

4.34. Рассчитайте критическую частоту алюминиевой пластины толщиной 0,42 м; деревянной пластины толщиной 0,3 м.

4.35. В обычном производственном помещении операторы мощных прессов находятся в радиусе 0,9 м от них. Насколько понизится шум для операторов, если акустическая постоянная помещения возрастёт с 1000 до 5000? Насколько он понизится в точке измерения, которая находится на расстоянии 6 м от прессов?

4.36. В производственном помещении размещены 10 источников шума. Уровни излучаемой мощности приведены в табл. 4.6, а схема их расположения дана на рис. 4.1.

Таблица 4.6

Параметр	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_w'$ , дБ	87	95	106	110	105	105	103	101	98
$L_w''$ , дБ	86	94	96	98	100	103	101	97	87

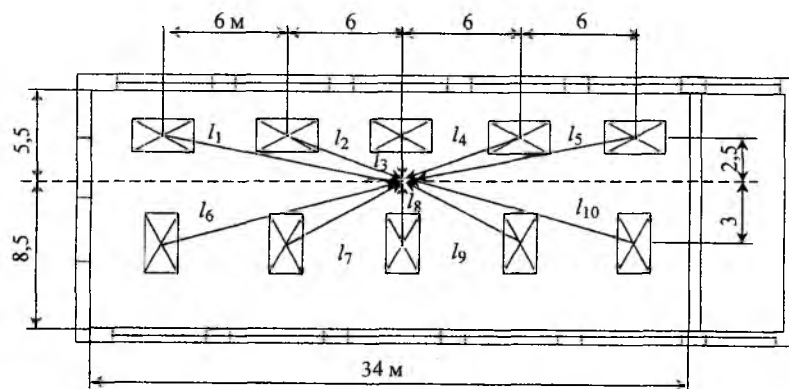


Рис. 4.1. Схема расположения источников шума в помещении

Источники шума расположены на полу. Расстояния от источников до точки приёма:  $l_1 = l_5 = 12,35$  м;  $l_2 = l_4 = 6,7$  м;  $l_3 = 2,9$  м;  $l_6 = l_{10} = 12,5$  м;  $l_7 = l_9 = 6,9$  м;  $l_8 = 3,4$  м.

Определите уровни звукового давления в точке приёма при условии, что работает один или более источников шума (по указанию преподавателя), результаты сопоставьте с ПС-75 и определите требуемое снижение шума.

4.37. В помещении площадью 10×20 м<sup>2</sup> высотой 5 м на полу установлены три источника шума с заданной акустической мощностью, уровни которых для различных среднегеометрических частот приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Параметр	Значение								
Среднегеометрическая частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звуковой мощности, дБ	89	94	96	98	100	102	100	99	94

Площадь ограждающих поверхностей составляет 700 м<sup>2</sup>. Рабочее место (пульт управления) находится на расстоянии 1 м от третьего источника шума и на расстоянии 8 и 9 м от двух других источников. Выберите мероприятия по шумоглушению и рассчитайте их эффективность.

## 5. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧЕМ (УЧЕБНОМ) МЕСТЕ

### 5.1. Общие сведения

Критериями высокого качества работ по охране труда и технике безопасности являются аттестованные рабочие места с классами 1 и 2. Для оценки условий труда используется Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда (Р 2.2.2006–05). Согласно Руководству по оценке риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии (Р 2.2.1766–03) Руководство Р 2.2.2006–05 используется в качестве первого этапа для оценки профессионального риска.

Гигиенические критерии – это показатели, характеризующие степень отклонений параметров факторов рабочей среды и трудового процесса от действующих гигиенических нормативов. Классификация условий труда основана на принципе дифференциации указанных отклонений за исключением работ с возбудителями инфекционных заболеваний, а также с веществами,

для которых должно быть исключено вдыхание или попадание на кожу (противоопухолевые лекарственные средства, гормоны-эстрогены, наркотические анальгетики), что даёт право отнесения условий труда к определённому классу вредности на потенциальную опасность.

В зависимости от степени отклонения фактических уровней факторов рабочей среды и трудового процесса от гигиенических нормативов условия труда по степени вредности и опасности условно подразделяются на четыре класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные. Классы условий труда, категории профессионального риска и срочность мер профилактики приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Класс условий труда по руководству Р 2.2.2006-05	Индекс профзаболеваний И	Категория профессионального риска	Срочность мероприятий по снижению риска
Оптимальный – 1	-	Отсутствует	Меры не требуются
Допустимый – 2	<0,05	Пренебрежимо малый (переносимый)	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите*
Вредный – 3.1	0,05...0,11	Малый (умеренный)	Требуется меры по снижению риска
Вредный – 3.2	0,12...0,24	Средний (существенный)	Требуется меры по снижению риска в установленные сроки
Вредный – 3.3	0,25...0,49	Высокий (непереносимый)	Требуется неотложные меры по снижению риска
Вредный – 3.4	0,5...1,0	Очень высокий (непереносимый)	Работы нельзя начинать или продолжать до снижения риска
Опасный (экстремальный)	>1,0	Сверхвысокий риск и риск для жизни, присущий данной профессии	Работы должны проводиться только по специальным регламентам**

Примечания: \* К уязвимым группам работников относят несовершеннолетних, беременных женщин, кормящих матерей, инвалидов (№ 184-ФЗ).

\*\* Ведомственные, отраслевые или профессиональные регламенты работ с мониторингом функционального состояния организма работника до начала или в течение смены.

По рекомендации Всемирной организации здравоохранения при оценке здоровья следует учитывать также компоненты психосоциального благополучия: удовлетворённость работой, семьёй, доходами и здоровьем.

## 5.2. Основные вопросы раздела занятий

5.1. Инженерно-психологические факторы, влияющие на трудовую деятельность человека. Вредные и опасные последствия неблагоприятных условий труда.

5.2. Факторы, определяющие напряжённость работы человека-оператора. Понятия информационных потоков. Способность человека к обработке информации в порядке очереди.

5.3. Методы оценивания тяжести труда человека-оператора. Учитываемые при этом параметры. Группы факторов и примеры нормирования.

5.4. Способы оптимизации труда человека-оператора. Учёт неполной загрузки оператора при оценивании тяжести его труда.

5.5. Учёт антропометрических характеристик человека при проектировании рабочих мест. Влияние точности и тяжести работы на выбираемые соотношения высоты рабочих мест.

5.6. Зависимость чувствительности и усилия управления для органов управления того или иного вида в зависимости от частоты манипуляций.

5.7. Интенсивность, напряжённость и точность как понятия инженерной психологии.

5.8. Учёт вработываемости, привыкания и усталости в течение рабочей смены на продолжительность тех или иных трудовых процессов.

5.9. Основные принципы размещения (формирования) органов отображения информации и органов управления в изделиях приборной техники.

5.10. Факторы, по которым проводится оценка условий труда (учёбы).

5.11. Понятие травмобезопасности и критерии оценки условий труда по данному показателю.

5.12. Классификация условий труда.

5.13. Показатели и критерии оценки профессионального риска. Классы условий труда, категории профессионального риска и срочность мер профилактики.

5.14. Аттестация рабочих мест по факторам рабочей среды, тяжести, напряжённости, травмобезопасности и обеспеченности средствами защиты.

### 5.3. Задания по теме

5.1. Оцените условия труда работника по факторам среды. Вариант задания А-Б-В-Г-Д выберите из табл. 5.1. Примите, что условия труда по другим факторам среды соответствуют классу 2.

Таблица 5.1

Позиция	Параметр	Значение позиции	Значение параметра, задаваемые условия		
А	Характер работы	1	Экономист		
		2	Бухгалтер		
		3	Директор фирмы		
		4	Системный администратор ЭВМ		
		5	Программист Бухгалтерии 1С		
		6	Рабочий по упаковке штучного товара		
		7	Продавец сотовых телефонов		
		8	Научный работник		
		9	Ювелир (работа с объектами <0,5 мм)		
Б	Освещение		КЕО	Е, лк	КП, %
		1	0,05	320	18
		2	0,5	180	12
		3	1,5	400	24
		4	0,9	120	18
		5	0,65	320	13
		6	0,25	320	8
В	Шум		L, дБА		
		1	43		
		2	34		
		3	50		
		4	64		
		5	71		
		6	55		
Г	Электромагнитные поля		$E_1/E_{II}$ , В/м	$B_1/B_{II}$ , нТл	$P$ , Вт/м <sup>2</sup>
		1	2/0,2	2000/0,2	0,1
		2	20/0,4	70/14	0,01
		3	200/0,9	700/0,9	0,02
		4	530/10,2	30/10	0,03
		5	36/10,2	360/10	3
		6	49/20,2	49/20	4,5
		7	230/5,2	230/5	1
		8	120/9,2	120/9	0,15
		9	19/30,2	19/30	0,25
		10	80/60,2	80/60	0,06

Окончание табл. 5.1

Позиция	Параметр	Значение позиции	Значение параметра, задаваемые условия		
			t, °C	Влажность, %	v, м/с
Д	Микроклимат	1	20	33	0,01
		2	18	46	0,02
		3	23	57	0,03
		4	19	68	0,04
		5	25	34	0,01
		6	19	46	0,02
		7	23	48	0,1
		8	22	53	0,5
		9	15	37	0,09
		10	21	49	0,2

Нанесите конкретные мероприятия (организационные, технические, финансово-экономические) с определением необходимых затрат в денежном выражении, экономической эффективности по созданию допустимых условий труда работника и по времени устранения неблагоприятных факторов среды и процесса труда.

5.2. Определите класс условий труда, если шум на рабочем месте превышает нормативные требования по эквивалентному уровню звука на 4 дБА, а освещённость составляет 60 % от нормируемой освещённости. Остальные факторы находятся в пределах установленных нормативов.

5.3. Определите класс условий труда, если три физических фактора среды не соответствуют нормативным требованиям: шум на рабочем месте превышает нормативные требования по эквивалентному уровню звука на 3 дБА, освещённость составляет 70 % от нормируемой освещённости, а электромагнитное поле на 20 % превышает нормируемое. Остальные факторы находятся в пределах установленных нормативов.

5.4. Оцените общие условия труда, если все факторы среды соответствуют нормативным значениям, 20 факторов напряжённости труда имеют оценку классов 1 и 2, а три показателя отнесены к классам 3.1 или к 3.2 (например, содержание работы связано с единоличным руководством в сложных ситуациях; длительность сосредоточенного наблюдения составляет более 75 % времени смены; несение ответственности за функциональное качество основной работы, но работа влечёт за собой исправления ошибок).

5.5. Оцените общие условия труда, если все факторы среды соответствуют нормативным значениям, а из 23 факторов напряжённости труда шесть показателей отнесены к классам 3.1 или 3.2 (например, содержание работы связано с единоличным руководством в сложных ситуациях; длительность сосредоточенного наблюдения составляет более 75 % времени смены; несение ответственности за функциональное качество основной работы, но работа влечёт за собой исправления ошибок за счёт дополнительных усилий всего коллектива; монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом технологического процесса составляет 95 % от времени смены) и др.), а остальные показатели имеют оценку классов 1 и/или 2.

5.6. Оцените общие условия труда, если все факторы производственной среды соответствуют нормативным значениям, все показатели напряжённости труда имеют оценку классов 1 и/или 2, а работнику приходится находиться периодически (до 25 % времени смены) в неудобной позе (например, работа с поворотом туловища, при неудобном размещении конечностей и др.) и/или в фиксированной позе (невозможность изменения взаимного положения различных частей тела относительно друг друга) либо находиться в стоячей позе до 60 % времени смены (показатели тяжести труда).

5.7. К какой категории доказанности риска относится работа, оцениваемая классом условий труда 3.1?

5.8. Какова срочность мероприятий по снижению риска при выполнении работы, оценка которой соответствует классу условий труда 3.2?

5.9. Оцените травмоопасность рабочего места, если работа проводится на устаревшем оборудовании, но это не запрещено специальными требованиями безопасности на данное оборудование; выявлены повреждения и неисправности средств защиты, не снижающие их защитных функций.

## 6. БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ НА КОМПЬЮТЕРЕ

### 6.1. Общие сведения

При работе с ЭВМ имеется много вредных и опасных факторов. Опасность поражения электрическим током и меры защиты от неё уже рассмотрены ранее. В связи с тем, что для данного вида деятельности характерны большое умственное напряжение, высокая ответственность за результат, статичная поза и небольшие энергетические затраты, преимущественное внимание уделяется психофизиологическим вредным факторам. Основные требования

по ограничению других вредных факторов определяются в санитарно-эпидемиологических правилах и нормативах СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 помещения для эксплуатации ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Эксплуатация ПЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при соответствующем обосновании и при наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения, выданного в установленном порядке.

Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. Тем не менее, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 освещённость должна быть несколько большей, чем, например, рекомендуют другие нормативные документы, в частности свод правил СП 52.13330.2011. Требования по коэффициенту пульсации также значительно жёстче: он не должен превышать 5 %. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, должны быть ориентированы преимущественно на север и северо-восток.

Оконные проёмы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с видеодисплейными терминалами (ВДТ) на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, в помещениях культурно-развлекательных учреждений и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – 4,5 м<sup>2</sup>.

При использовании ПЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств – принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4 ч в день допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место пользователя (взрослого и учащегося высшего профессионального образования).

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения: для потолка 0,7...0,8; для стен 0,5...0,6; для пола 0,3...0,5.

Шум ограничивается предельным спектром ПС-45.

Электромагнитные поля от персональных электронно-вычислительных машин являются достаточно жёсткими и должны соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые фактически повторяют требования Шведского стандарта MPR II. Тем не менее, развивающиеся Интернет-технологии и периферийное оборудование стали вызывать некоторые проблемы с высокочастотными ЭМП частотой более 400 кГц, требования по которым в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 отсутствуют. Источником ЭМП высокой частоты могут быть индукционные мыши и устройства беспроводного доступа, такие, как Wi-Fi.

В учебном пособии В. А. Буканина, В. Н. Павлова, Г. М. Товбина, А. О. Трусова "Эргономика – человеческий фактор" / под ред. В. Н. Павлова (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2003) приведена подробная информация об особенностях работы на компьютере и о методах снижения вредности от психофизиологических вредных факторов при организации рабочих мест, проектировании рабочей среды и рабочих ситуаций.

## 6.2. Основные вопросы раздела занятий

6.1. Влияние дефицита времени на верность принимаемого оператором решения. Методы профессионального отбора и назначение тренировок (обучения) для операторов потенциально опасных объектов.

6.2. Эргономические закономерности построения рабочих мест. Учёт инженерно-психологических особенностей человека.

6.3. Размеры зон визуального и моторного полей. Виды оборудования, размещаемых в этих зонах.

6.4. Оценка допустимых информационных потоков для человека-оператора в зависимости от сложности и напряжённости его деятельности.

6.5. Минимальные и максимальные размеры органов отображения информации и классификация органов отображения информации по способу её кодирования.

6.7. Эргономические требования к интерфейсу пользователя программным обеспечением.

6.8. Требование к периферийному оборудованию ЭВМ.

6.9. Правила, которым должен следовать работодатель по охране здоровья и безопасности труда своих сотрудников при их работе с графическими дисплеями.

## 6.3. Задания по теме

6.1. Помещение, где должны быть расположены пять компьютеров, имеет размеры  $6 \times 4 \text{ м}^2$ . Два окна по одной из длинных сторон помещения выходят на юг. Дверь расположена в середине противоположной стороны. Предложите вариант расположения рабочих мест, удовлетворяющий требованиям СанПиН.

6.2. Помещение, где должны быть расположены четыре компьютера, имеет размеры  $5 \times 4 \text{ м}^2$ . Окно по короткой стороне помещения выходит на север. Дверь расположена напротив окна. Предложите вариант расположения рабочих мест, удовлетворяющий требованиям СанПиН.

6.3. Произведите расстановку максимального количества рабочих мест с ПЭВМ с ЖК-мониторами в помещении, имеющем следующие размеры: длина – 6 м, ширина – 6 м. Два окна по одной стороне выходят на север. Дверь – в середине противоположной стороны. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН.

6.4. Предложите вариант проекта помещения, минимально необходимого для размещения четырёх рабочих мест с ПЭВМ с мониторами на базе электронно-лучевой трубки. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН. Не забудьте предусмотреть окна и двери, указать размеры помещения.

6.5. Предложите вариант проекта помещения, минимально необходимого для размещения трёх рабочих мест с ПЭВМ с жидкокристаллическими мониторами. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН. Не забудьте предусмотреть окна и двери, указать размеры помещения.

6.6. Произведите расстановку максимального количества рабочих мест с электронными вычислительными машинами в помещении, имеющем следующие размеры: длина – 6 м, ширина – 5 м. Одно окно по широкой стороне помещения выходит на запад. Дверь – в середине противоположной стороны. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН.

6.7. Предложите вариант проекта помещения, минимально необходимого для размещения пяти рабочих мест с ПЭВМ с жидкокристаллическими мониторами. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН. Не забудьте предусмотреть окна и двери, указать размеры помещения.

6.8. Произведите расстановку максимального количества рабочих мест с электронными вычислительными машинами в помещении, имеющем сле-

дующие размеры: длина – 6 м, ширина – 5 м. Одно окно по узкой стороне помещения выходит на восток. Дверь – в середине противоположной стороны. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН.

6.9. Вы хотите снять помещение под офис фирмы, занимающейся разработкой программного обеспечения. Выберите из предлагаемых и предложите вариант своего проекта помещения, минимально необходимого для размещения шести рабочих мест с ПЭВМ с мониторами на базе электронно-лучевой трубки. Укажите размеры помещения, окна и двери. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН.

6.10. Помещение, где должны быть расположены шесть компьютеров, имеет размеры 4×7 м<sup>2</sup>. Два окна по длинной стороне помещения выходят на север. Дверь расположена в середине короткой стороны помещения. Предложите вариант расположения рабочих мест, удовлетворяющий требованиям СанПиН.

6.11. Произведите расстановку максимального количества рабочих мест с ПЭВМ в помещении, имеющем следующие размеры: длина – 5 м, ширина – 5 м. Одно окно выходит на север. Дверь – в середине противоположной стороны. Проект должен соответствовать требованиям СанПиН.

6.12. Помещение, где должны быть расположены пять компьютеров, имеет размеры 6×4 м<sup>2</sup>. Окно по короткой стороне помещения выходит на юг. Дверь расположена в середине длинной стороны помещения. Требуется предложить вариант расположения рабочих мест, удовлетворяющий требованиям СанПиН.

6.13. Покупая ЭВМ и программное обеспечение к нему, а также организуя рабочее место, предусмотрите, чтобы они исключили воздействие всех шести видов вредных психофизиологических факторов. По каждому фактору покажите, что для этого сделано.

6.14. Организуйте эргономически правильное рабочее место программиста с проектом размещения ЭВМ и периферийного оборудования, основной и дополнительной систем освещения.

6.15. Разработайте графический интерфейс сайта, учитывающий эргономические требования и принципы проектирования диалога “человек – ЭВМ”.

6.16. Оцените графический интерфейс известного вам сайта с позиции эргономики и принципов проектирования системы “человек – ЭВМ”.

## 7. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### 7.1. Общие сведения

Требования по обеспечению пожарной безопасности изложены в Федеральном законе Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”, в Нормах пожарной безопасности электронных изделий НПБ 247 – 97 и в государственных стандартах.

В соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ исключение условий возникновения пожаров достигается исключением условий образования горючей среды и (или) исключением условий образования в горючей среде (или внесения в неё) источников зажигания.

Подробную информацию о нормативных материалах в области пожарной безопасности и пожарной защиты, вопросах обеспечения взрыво-, пожаробезопасности объектов, сведениях о взрыво-, пожароопасности веществ и материалов, возгораемости и огнестойкости строительных конструкций, методиках определения категорий помещений и зданий, технических решениях по пожарной защите объектов, мероприятиях по взрывозащите, профилактических мероприятиях по предотвращению пожаров, а также о способах их тушения можно найти в учебном пособии В. А. Буканина, В. Н. Павлова, А. О. Трусова “Пожарная безопасность” / под ред. В. Н. Павлова (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2012).

Одной из задач, которые чаще всего приходится решать для принятия решения о защите пожароопасных объектов, является определение категории пожаро-, взрывоопасности помещений, методика выбора которой приведена далее.

Согласно своду правил СП 12.13130.2009 “Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности” помещения подразделяются на категории А, Б, В1 – В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории АН, БН, ВН, ГН и ДН.

Категории помещений и зданий определяются исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также исходя из объёмно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

Категории наружных установок определяются исходя из пожароопасных свойств находящихся в установках горючих веществ и материалов, их количества и особенностей технологических процессов.

Пожароопасные свойства веществ и материалов определяются на основании результатов испытаний или расчётов по стандартным методикам с учётом параметров состояния (давления, температуры и т. д.).

Допускается использование официально опубликованных справочных данных по пожароопасным свойствам веществ и материалов. Допускается использование показателей пожарной опасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

При расчёте критериев взрывопожарной опасности в качестве расчётного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо-, паро-, пылевоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания смесей.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовывать горючие газозооушнне, паровоздушные, пылевоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчётная авария одного из аппаратов;
- б) всё содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат, по прямому и по обратному потокам в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчётное время отключения трубопроводов определяют в каждом конкретном случае исходя из реальной обстановки, и оно должно быть минимальным с учётом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчётной аварии.

Расчётное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование её элементов,

- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервированием её элементов,

- 300 с при ручном отключении;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных) исходя из расчёта, что 1 л смесей и растворов, содержащих 10 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м<sup>2</sup>, а остепильных жидкостей – на 1 м<sup>2</sup> пола помещения;

д) происходит также испарение жидкости из ёмкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежееокрашенных поверхностей;

Длительность испарения жидкости принимается равной времени её полного испарения, но не более 3600 с.

Количество пыли, которое может образовать пылевоздушную смесь, определяется из следующих предпосылок:

а) расчётной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыделения из негерметичного производственного оборудования);

б) в момент расчётной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Свободный объём помещения определяется как разность между объёмом помещения и объёмом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объём помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно (равным 80 % геометрического объёма помещения).

Избыточное давление  $\Delta p$  для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\Gamma, \text{п}}} \frac{100}{C_{\text{ст}}} \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (7.1)$$

где  $p_{\max}$  – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозооушной или паровоздушннй смеси в замкнутом объёме, определяемое экспериментально или по справочным данным (при отсутствии данных допускается принимать  $p_{\max}$  равным 900 кПа);  $p_0$  – начальное давление (допускается принимать равным 101 кПа);  $m$  – масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, вышедших в результате расчётной аварии в помещение, кг;  $Z$  – коэффициент участия горючих газов

и паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объёме помещения согласно приложению к СП 12.13130.2009 или взят из табл. 7.1;  $V_{\text{св}}$  – свободный объём помещения,  $\text{м}^3$ ;  $C_{\text{ст}}$  – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % (массовых);  $\rho_{\text{г,п}}$  – плотность газа или пара при расчётной температуре  $t_{\text{р}}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , вычисляемая по формуле

$$\rho_{\text{г,п}} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_{\text{р}})}.$$

Здесь  $M$  – молярная масса,  $\text{м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $V_0$  – мольный объём, равный  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $t_{\text{р}}$  – расчётная температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 7.1

Горючие вещества	Значение $Z$
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

В качестве расчётной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учётом возможного её повышения в аварийной ситуации. Если такого значения расчётной температуры  $t_{\text{р}}$  по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать её равной  $61^{\circ}\text{C}$ ;  $C_{\text{ст}}$  вычисляют по следующей формуле:

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

где  $\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{X}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2}$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания ( $n_{\text{C}}$ ,  $n_{\text{H}}$ ,  $n_{\text{O}}$ ,  $n_{\text{X}}$  – число атомов С, Н, О и галоидов в молеку-

ле горючего;  $K_{\text{H}}$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_{\text{H}} = 3$ ).

Расчёт  $\Delta p$  для индивидуальных веществ, а также для смесей, кроме индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, может быть выполнен по формуле

$$\Delta p = \frac{mH_{\text{T}}\rho_0 Z}{V_{\text{св}}\rho_{\text{в}}C_{\text{p}}T_0 K_{\text{H}}}, \quad (7.2)$$

где  $H_{\text{T}}$  – теплота сгорания,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $C_{\text{p}}$  – теплоёмкость воздуха,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  (допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ );  $T_0$  – начальная температура воздуха, К.

В случае обращения в помещении горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при определении массы  $m$ , входящей в формулы (7.1) и (7.2), допускается учитывать работу аварийной вентиляции, если она обеспечена резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электрообеспечением по первой категории надёжности по Правилам устройства электроустановок, при условии расположения устройств для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии.

При этом массу  $m$  горючих газов или паров легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше, поступивших в объём помещения, следует разделить на коэффициент  $k$ , определяемый по формуле

$$k = AT + 1,$$

где  $A$  – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией,  $\text{с}^{-1}$ ;  $T$  – продолжительность поступления ГГ и паров ЛВЖ в объём помещения, с.

Масса  $m$ , кг, поступившего в помещение при расчётной аварии газа, определяется по формуле

$$m = (V_{\text{а}} + V_{\text{T}})\rho_{\text{г}},$$

где  $V_{\text{а}}$  – объём газа, вышедшего из аппарата,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{T}}$  – объём газа, вышедшего из трубопроводов,  $\text{м}^3$ , при этом  $V_{\text{а}} = 0,01 \cdot p_1 V$  ( $p_1$  – давление в аппарате, кПа;  $V$  – объём аппарата,  $\text{м}^3$ ),  $V_{\text{T}} = V_{1\text{T}} + V_{2\text{T}}$ .

Здесь  $V_{1T}$  – объём газа, вышедшего из трубопровода до его отключения,  $\text{м}^3$ :

$$V_{1T} = qT,$$

где  $q$  – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д.,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $T$  – время, с;

$V_{2T}$  – объём газа, вышедшего из трубопровода после его отключения,  $\text{м}^3$ :

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi p_2 (\eta_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n).$$

Здесь  $p_2$  – максимальное давление в трубопроводе по регламенту, кПа;  $r_1, 2, \dots, n$  – внутренний радиус трубопроводов, м;  $L_1, 2, \dots, n$  – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

Масса паров жидкости  $m$ , поступивших в помещение при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесённым составом, открытые ёмкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{\text{ёмк}} + m_{\text{св.окр}}, \quad (7.3),$$

где  $m_p$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;  $m_{\text{ёмк}}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых ёмкостей, кг;  $m_{\text{св.окр}}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которую нанесён применяемый свежеокрашенный состав, кг.

При этом каждое из слагаемых в формуле (7.3) определяется по формуле

$$m = WF_{\text{и}}T,$$

где  $W$  – интенсивность испарения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $F_{\text{и}}$  – площадь испарения,  $\text{м}^2$ , определяемая в зависимости от массы жидкости  $m_{\text{п}}$ , вышедшей в помещение.

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распылённом состоянии, то она должна быть учтена в формуле (7.3) введением дополнительного слагаемого, учитывающего общую массу поступившей жидкости от распыляющих устройств исходя из продолжительности их работ.

Интенсивность испарения  $W$  определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше расчётной температуры (окружающей среды) ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \sqrt{M} p_{\text{н}},$$

где  $\eta$  – коэффициент, принимаемый по табл. 7.2 в зависимости от скорости и от температуры воздушного потока над поверхностью испарения;  $p_{\text{н}}$  – давление насыщенного пара при расчётной температуре жидкости  $t_p$ , определяемое по справочным данным, кПа.

Таблица 7.2

Скорость воздушного потока в помещении, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значение коэффициента $\eta$ при температуре $t$ , °С, воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Масса паров  $m$ , кг, при испарении жидкости, нагретой выше расчётной температуры, но не выше температуры кипения жидкости, определяется по соотношению

$$m = 0,02 \sqrt{M} \cdot p_{\text{н}} \frac{c_{\text{ж}} m_{\text{п}}}{L_{\text{исп}}}, \quad (7.4)$$

где  $c_{\text{ж}}$  – удельная теплоемкость жидкости при начальной температуре испарения,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $L_{\text{исп}}$  – удельная теплота испарения жидкости при начальной температуре испарения, определяемая по справочным данным,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

При отсутствии справочных данных допускается рассчитывать  $L_{\text{исп}}$  по формуле

$$L_{\text{исп}} = \frac{19,173 \cdot 10^3 B T_{\text{а}}^2}{(T_{\text{а}} + C_{\text{а}} - 273,2)^2 \cdot M}, \quad (7.5)$$

где  $B$ ,  $C_a$  – константы уравнения Антуана, определяемые по справочным данным для давления насыщенных паров;  $T_a$  – начальная температура нагретой жидкости, К;  $M$  – молярная масса жидкости,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

Формулы (7.4) и (7.5) справедливы для жидкостей, нагретых от температуры вспышки и выше при условии, что температура вспышки жидкости превышает значение расчётной температуры.

Расчёт избыточного давления  $\Delta p$ , кПа, производится по формуле (7.2), где коэффициент  $Z$  участия взвешенной пыли в горении рассчитывают по формуле

$$Z = 0,5F.$$

Здесь  $F$  – массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэрозоль становится неспособной распространять пламя. В отсутствие возможности получения сведений для оценки величины  $F$  допускается принимать  $F = 1$ .

Расчётную массу взвешенной в объёме помещения пыли  $m$ , кг, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяют по формуле

$$m = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{вз} + m_{ав}; \\ \rho_{ст} V_{ав} / Z, \end{array} \right.$$

где  $m_{вз}$  – расчётная масса взвихрившейся пыли, кг;  $m_{ав}$  – расчётная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;  $\rho_{ст}$  – стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэрозоль,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $V_{ав}$  – расчётный объём пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объёме помещения,  $\text{м}^3$ .

В отсутствие возможности получения сведений для расчёта  $V_{ав}$  допускается принимать

$$m = m_{вз} + m_{ав}.$$

Расчётную массу взвихрившейся пыли  $m_{вз}$  определяют по формуле

$$m_{вз} = K_{вз} m_{п},$$

где  $K_{вз}$  – доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. При отсутствии экспериментальных сведений о величине  $K_{вз}$  её допускается принимать равной 0,9;  $m_{п}$  – масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг.

Расчётную массу пыли  $m_{ав}$ , поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, определяют по формуле

$$m_{ав} = (m_{а.п} + qT)K_{п},$$

где  $m_{а.п}$  – масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, кг;  $q$  – производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $T$  – время отключения, с;  $K_{п}$  – коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение. При отсутствии экспериментальных данных о величине  $K_{п}$  допускается принимать:

- $K_{п} = 0,5$  – для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм;
- $K_{п} = 1,0$  – для пылей с дисперсностью менее 350 мкм.

Массу отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяют по формуле

$$m_{п} = \frac{K_{г}}{K_{у}} (m_1 + m_2),$$

где  $K_{г}$  – доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;  $K_{у}$  – коэффициент эффективности пылеуборки (его принимают равным 0,6 при ручной сухой и 0,7 – при влажной пылеуборке). При механизированной вакуумной пылеуборке для ровного пола  $K_{у}$  принимают равным 0,9; для пола с выбоинами (до 5 % площади) – 0,7;  $m_1$  – масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг;  $m_2$  – масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях за период времени между текущими уборками, кг.

Масса пыли  $m_i$  ( $i = 1; 2$ ), оседающей на различных поверхностях в помещении за межуборочный период, определяется по формуле

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i, \quad i = 1, 2,$$

где  $M_1 = \sum_j M_{1j}$  – масса пыли, выделенная в объём помещения за период времени между генеральными пылеуборками, кг;  $M_{1j}$  – масса пыли, выделенная единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;  $M_2 = \sum_j M_{2j}$  –

масса пыли, выделенная в объём помещения за период времени между текущими пылеуборками, кг;  $M_{2j}$  – масса пыли, выделенная единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;  $\alpha$  – доля выделенной в объём помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. При отсутствии экспериментальных данных о значении  $\alpha$  полагают  $\alpha = 0$ ;  $\beta_1, \beta_2$  – доли выделенной в объём помещения пыли, осевшей, соответственно, на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях помещения ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

При отсутствии сведений о коэффициентах  $\beta_1$  и  $\beta_2$  допускается принимать  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ .

Массы пыли  $M_i (i = 1; 2)$  могут быть также определены экспериментально (или по аналогии с действующими образцами производств) в период максимальной загрузки оборудования по формуле

$$M_i = \sum_j (G_{ij} F_{ij}) \tau_i, \quad i = 1, 2,$$

где  $G_{1j}, G_{2j}$  – интенсивность пылеотложений на труднодоступных  $F_{1j} (м^2)$  и на доступных  $F_{2j} (м^2)$  площадях соответственно,  $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$ ;  $\tau_1, \tau_2$  – промежуток времени между генеральными и между текущими пылеуборками соответственно, с.

Расчётное избыточное давление  $\Delta p$  для гибридных смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли, определяется по формуле

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2,$$

где  $\Delta p_1$  – избыточное давление, вычисленное для горючего газа (пара);  $\Delta p_2$  – избыточное давление, вычисленное для горючей пыли.

Расчётное избыточное давление  $\Delta p$  для веществ и материалов, способных сгорать при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, определяют, полагая  $Z = 1$  и принимая в качестве  $H_T$  энергию, выделяющуюся при этом взаимодействии (с учётом сгорания продуктов взаимодействия до конечных соединений), или экспериментально в натурных испытаниях. В случае, когда определить величину  $\Delta p$  не представляется возможным, следует принимать её превышающей 5 кПа.

Согласно приложению СП 12.13130.2009 определение категорий помещений по пожарной опасности В1 – В4 осуществляют сравнением макси-

мального значения удельной временной пожарной нагрузки (далее – пожарная нагрузка) на любом из участков со значением удельной пожарной нагрузки, приведённым в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка $g$ на участке, $МДж \cdot м^{-2}$	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется
В2	1401...2200	В соответствии с Б.2 СП 12.13130.2009
В3	181...1400	В соответствии с Б.2 СП 12.13130.2009
В4	1...180	На любом участке пола помещения площадь каждого из участков пожарной нагрузки не более $10 м^2$ . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно Б.2 СП 12.13130.2009

Согласно СП 12.13130.2009 при различных сочетаниях (смесях) легко воспламеняющихся, горючих, трудногорючих жидкостей, твёрдых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка пожарная нагрузка  $Q$ , МДж, определяется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni},$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;  $Q_{ni}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж  $\cdot кг^{-1}$ .

Удельная пожарная нагрузка  $g$ , МДж  $\cdot м^{-2}$ , определяется из соотношения

$$g = Q/S,$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки,  $м^2$  (но не менее  $10 м^2$ ).

В помещениях категорий В1 – В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведённых в табл. 7.3. В помещениях категории В4 расстояния между этими участками должны быть более предельных. В табл. 7.4 приведены рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от значения критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$ , кВт  $\cdot м^{-2}$ , для пожарной нагрузки, состоящей из твёрдых горючих и трудногорючих материалов. Значения  $l_{пр}$ ,

приведённые в табл. 7.4, рекомендуются при условии, если  $H > 11$  м; если  $H < 11$  м, то предельное расстояние определяется как  $l = l_{\text{пр}} + (11 - H)$ , где  $l_{\text{пр}}$  находится из табл. 7.4;  $H$  – минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

Таблица 7.4

$q_{\text{кр}}, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{\text{пр}}, \text{м}$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Значения  $q_{\text{кр}}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Материал	$q_{\text{кр}}, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью $417 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ )	8,3
Торф брикетный	13,2
То же кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0

Если пожарная нагрузка состоит из различных материалов, то  $q_{\text{кр}}$  определяется по материалу с минимальным значением  $q_{\text{кр}}$ .

Для материалов пожарной нагрузки с неизвестными значениями  $q_{\text{кр}}$  предельные расстояния принимаются  $l_{\text{пр}} \geq 12$  м.

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ или ГЖ, расстояние  $l_{\text{пр}}$  между соседними участками размещения (разлива) пожарной нагрузки допускается рассчитывать по следующим формулам:

$$l_{\text{пр}} \geq 15 \text{ м при } H \geq 11 \text{ м; } l_{\text{пр}} \geq 26 - H \text{ при } H < 11 \text{ м.}$$

Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки  $Q$  отвечает неравенству  $Q \geq 0,64 g_{\text{T}} H^2$ , то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно.

Здесь

- $g_{\text{T}} = 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $0 < g \leq 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ;
- $g_{\text{T}} = 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $181 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ;
- $g_{\text{T}} = 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $1401 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ .

## 7.2. Основные вопросы раздела занятий

7.1. Горение и пожар. Условия их возникновения. Вредные и опасные факторы пожара.

7.2. Показатели пожаро- и взрывоопасности горючих газов.

7.3. Причины возникновения пожаров. Пути предотвращения возникновения и развития пожаров.

7.4. Понятие о концентрационных пределах воспламенения газов.

7.5. Какими параметрами характеризуется пожаро-, взрывоопасность твёрдых горючих веществ и их пыли? Условия возникновения их горения.

7.6. Параметры пожарной опасности горючих газов. Условия возникновения их горения.

7.7. Какими параметрами характеризуется пожаро-, взрывоопасность горючих жидкостей? Условия возникновения их горения.

7.8. Условия возникновения горения в виде факела пламени и взрывного горения.

7.9. Самовозгорание и самовоспламенение. Характеризуемые процессы. Разница в понятиях.

7.10. Конструктивные меры в изделиях приборной техники для защиты от пожара.

7.11. Характеристики пожарной опасности и огнестойкости для оборудования пожароопасных зон. Условия стандартного пожара.

7.12. Классификация производств по степени пожарной опасности. Требования огнестойкости к конструкциям зданий для этих видов производств.

7.13. Информационные признаки пожара. Физические принципы выявления очагов загорания и конструкции систем пожарной сигнализации.

7.14. Показатели взрывоопасности веществ и процессов. Принципы предотвращения взрывов и степени защиты оборудования взрывоопасных зон.

7.15. Принципы борьбы с пожарами. Различия в принципах пожаротушения для аппаратуры и для зданий.

7.16. Системы ручного и автоматического пожаротушения. Рабочие вещества и огнетушащие составы для этих систем.

7.17. Вредные и опасные факторы пожара. Системы индивидуальной защиты для пожарных.

7.18. Пожарная опасность от токов замыкания на землю в сетях переменного тока, изолированных от земли.

7.19. Пожароопасные элементы электротехнических изделий.

7.20. Пожароопасные элементы изделий электронной техники.

### 7.3. Задания по теме

7.1. Определите категорию производственного помещения по пожарной опасности площадью  $20 \text{ м}^2$ , в котором находятся три деревянных стола и шесть стульев с общей массой древесины  $150 \text{ кг}$  и хранится  $20 \text{ кг}$  писчей бумаги. Теплота сгорания бумаги –  $13,4$ , древесины –  $13,8 \dots 19 \text{ МДж/кг}$ .

7.2. При замыкании фазы на землю в этом месте возникает нагрев окружающих горючих материалов. Определите вероятность возникновения пожара, если известно, что он может произойти при рассеиваемой мощности  $30 \text{ Вт}$ . При расчёте принять, что замыкание произошло в сети с глухозаземлённой нейтралью, имеющей фазное напряжение  $220 \text{ В}$ , сопротивление рабочего заземления  $4 \text{ Ом}$ , а сопротивление в месте замыкания равно  $100 \text{ Ом}$ .

7.3. Определите категорию по пожарной опасности помещения аудитории площадью  $100 \text{ м}^2$ , в котором находятся  $120$  деревянных парт с общей массой древесины  $600 \text{ кг}$  и могут оставаться после лекции  $10 \text{ кг}$  писчей бумаги. Теплота сгорания бумаги –  $13,4$ , древесины –  $13,8 \dots 19 \text{ МДж/кг}$ .

7.4. Определите категорию по пожарной опасности помещения склада площадью  $1000 \text{ м}^2$ , в котором находятся  $12 \text{ т}$  древесины. Теплота сгорания древесины равна  $13,9 \text{ МДж/кг}$ .

## 8. ХИМИЧЕСКАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

### 8.1. Общие сведения

Химические и радиоактивные вещества являются чрезвычайно вредными и опасными для человека. Связано это с тем, что за короткий промежу-

ток времени они могут вызвать заболевание, а иногда – даже смерть. Наиболее опасны химические вещества, которые встречаются достаточно часто в ходе загрязнения воздуха.

Подробную информацию о вопросах химической и радиационной безопасности и защиты от этих видов опасности можно найти в учебном пособии В. А. Буканина, В. Н. Павлова, А. О. Трусова “Химическая и радиационная безопасность” / под ред. В. Н. Павлова (СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. 2012. 48 с.).

Не так часто, но всё же такие случаи неединичны, когда человек встречается и с источниками ионизирующего излучения в повседневной жизни. Одним из таких источников является монитор с электронно-лучевой трубкой, в котором генерируется мягкое рентгеновское излучение при торможении электронов на экране. Иногда люди находят, затем долго хранят или используют старые приборы, снятые со списанной военной или другой техники, которые при проверке дозиметрами оказываются сильными источниками радиоактивного излучения. В строительных конструкциях находят точечные источники сильного излучения. Гранитные набережные Невы также имеют повышенный радиоактивный фон. Радиоактивные вещества и материалы перевозят по железной дороге и другими видами транспорта. При медицинских обследованиях применяются рентгеновские аппараты. Во время чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями на радиационно опасных объектах, человек может получить большие дозы облучения.

Основным нормативным документом, в котором определены требования к ионизирующим излучениям, являются нормы радиационной безопасности НРБ 99/2009.

Один из примеров выполнения предложенных заданий приведён далее.

Определить максимальную допустимую мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения от видеодисплейного терминала, исходя из предельной эквивалентной дозы за один год для хрусталика глаза, если пользователь ЭВМ ежедневно проводит за ней по  $8 \text{ ч}$  (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Нормируемая величина	Дозовый предел	
	Группа А	Население
Эквивалентная доза за год в хрусталике	150	15

ПЭВМ является аналогом бытовой техники, у которого норма для населения составляет  $H_{\text{ПДУ}} < 15$  мЗв/год. Излучение рентгеновское; взвешивающий коэффициент для данного ионизирующего излучения в объёме биологической ткани  $W_R = 1$ . Так как  $H_{T,R} = D_{T,R} W_R$ , то поглощённая доза в греях составит  $D_{T,R} = H_{T,R} / W_R$ . Экспозиционная доза  $D_x = k D$ , где  $k$  – коэффициент поглощения. Время действия за год  $T = 8 \cdot 365 = 2920$  ч.

При экспозиционной дозе во внесистемных единицах измерения в 1 Р в воздухе при нормальных условиях поглощается энергия  $0,114$  эрг/см<sup>3</sup> или  $88$  эрг/г =  $0,88$  рад либо поглощённая доза в системе СИ  $8,8$  мГр и эквивалентная доза  $8,8$  мЗв ( $1$  Гр =  $100$  рад,  $1$  Зв =  $113$  Р). Соотношение между экспозиционными дозами во внесистемной и в системной единицах следующее:  $1$  Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг, а соотношение между мощностями экспозиционной дозы  $1$  Р/с =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  А/кг, или  $1$  Р/ч =  $0,93$  А/кг. Следовательно,  $15$  мЗв/год, или  $5,14$  мкЗв/ч будут соответствовать  $580$  мкР/ч или  $541 \cdot 10^{-6}$  А/кг.

## 8.2. Основные вопросы раздела занятий

8.1. Виды вредных загрязнений воздуха среды обитания. Влияние загрязнений на здоровье человека.

8.2. Классификация вредных и опасных веществ в воздухе рабочей зоны по физиологическому воздействию. Понятие о ПДК.

8.3. Производственные пыли, пары и газы. Классификация вредных веществ по физиологическому воздействию. Допустимые уровни вредных веществ в среде обитания.

8.4. Различия в нормировании количества вредных веществ в воздухе бытовых и промышленных помещений (зон). Способы и аппаратура контроля уровней загрязнения воздуха.

8.5. Средства снижения концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Индивидуальные средства защиты работающих.

8.6. Вентиляция. Назначение. Виды. Особенности расчётов.

8.7. Кондиционирование воздуха – назначение, виды, рассчитываемые и выбираемые параметры и характеристики.

8.8. Системы очистки воздуха. Принципы действия и основные проектные характеристики.

8.9. Признаки объектов и производств повышенной химической опасности. Виды и примеры производств.

8.10. Ионизирующие излучения. Виды ионизирующих излучений. Природные и техногенные источники излучения.

8.11. Виды действия ионизирующих излучений на организм человека.

8.12. Понятия поглощённой и эквивалентной доз. Измеряемые дозовые параметры. Единицы измерения дозы поглощённого излучения.

8.13. Экспозиционная доза. Что она характеризует. Единицы, нормы.

8.14. Нормы радиационной безопасности для ионизирующих излучений.

8.15. Классификация персонала и населения и разница в принципах нормирования ионизирующих излучений для тех и других.

8.16. Контролируемые параметры ионизирующего излучения и виды дозиметрической аппаратуры.

8.17. Способы снижения опасности ионизирующего излучения, средства на коллективной и индивидуальной защиты.

8.18. Способы классификаций установок и производств по степени их опасности. Понятие декларации безопасности установок и производств.

8.19. Признаки объектов и производств повышенной радиационной опасности. Виды и примеры производств.

8.20. Способы и аппаратура для контроля уровней загрязнения местности в районах аварий и ЧС.

8.21. Планировочные, градостроительные и архитектурно-строительные ограничения, накладываемые при планировании размещения объектов повышенной опасности.

8.22. Инженерно-технические мероприятия по защите объектов ГО и ЧС. Состав дополнительных объектов и сооружений.

8.23. Структура органов управления предприятием, районом, городом, областью или страной в условиях ЧС. Органы и штабы, создаваемые в этих административных образованиях для деятельности в нормальный период и в период ЧС.

8.24. Ответственность руководителей предприятий за состояние объекта к ситуациям ГО и ЧС. Распределение обязанностей внутри предприятий и организаций.

8.25. Информационные системы для управления предприятием в условиях ЧС.

8.26. Организация оповещения о ЧС. Силы и средства оповещения.

8.27. Структура и состав сил Российской системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) по предотвращению ЧС, по ликвидации последствий ЧС и по восстановлению объектов после ЧС.

8.28. Эвакуационные мероприятия для ситуаций ЧС, разработка и реализация планов эвакуации на случай ЧС, включая их организационное, транспортное и материальное (в том числе материально-техническое) обеспечение.

8.29. Средства и методы обеспечения безопасности изделий промышленного производства (включая технологические процессы и установки) с точки зрения инициации ЧС техногенного характера.

8.30. Условия испытаний технических систем для выявления их способности не инициировать ЧС технического, технологического или информационного характера.

8.31. Способы оценивания стойкости (устойчивости) изделий и процессов к условиям ЧС.

8.32. Новые технические и технологические разработки в области средств оснащения сил и средств МЧС – информационные, энергетические, связные, навигационные и пр.

8.33. Особенности алгоритмов управления автоматизированными системами повышенной опасности. Роль дистанционного и ручного управления. Защитные алгоритмы безаварийного останова сложных технических систем.

8.34. Требования безопасности к алгоритмам и программам для ЭВМ и способы оценивания надёжности и безопасности программного обеспечения автоматизированных систем управления и информационных систем.

8.35. Силы и средства медицинского обеспечения для условий ЧС. Новая лечебно-диагностическая аппаратура для обследования и лечения пострадавших в ЧС.

8.36. Средства и каналы связи для управления аварийно-спасательными и неотложными восстановительными работами. Средства защиты средств связи от помех и импульсов, возникающих при ЧС. Проводная и волоконно-оптическая связь.

8.37. Технология разведки обстановки в очаге ЧС и используемые при этом средства дистанционного и автоматизированного зондирования.

8.38. Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях и для гражданской обороны.

### 8.3. Задания по теме

8.1. Из репортажа: "... мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на всех станциях контроля вокруг радиационно опасных объектов г. Сеперодвинска находится в пределах 7...15 мкР/ч". Определите годовую эквивалентную дозу, получаемую населением и оцените степень опасности.

8.2. На склоне берега Москвы-реки рядом с МИФИ на площади 2000 м<sup>2</sup> обнаружен и дезактивирован очаг радиационного загрязнения мощностью экспозиционной дозы 1200 мкР/ч. Определить допустимое время участия персонала в ликвидации загрязнения.

8.3. В Москве на территории яслей № 1316 было обнаружено захоронение старых приборов, содержащих источники ионизирующего излучения (Ra-226, Cs-137, Sr-90, Pu-239...). Мощность экспозиционной дозы на месте раскопок составляла 15 000 000 мкР/ч. Определите интервал времени до получения смертельно опасной для человека дозы облучения.

8.4. На железнодорожной станции Капитоново (6 км от С.-Петербурга) "Гринпис" обнаружил шесть вагонов с радиоактивными материалами (U-235, U-236). Замеренная на пассажирской платформе станции мощность экспозиционной дозы составила 1900 мкР/ч. За какой интервал времени пассажир, ожидающий электричку, может получить предельно допустимую годовую дозу?

8.5. Определите общую эффективную дозу  $\beta$ -излучения для желудка и печени ( $W_{\text{п}} = 0,05$ ,  $W_{\text{ж}} = 0,12$ ), если поглощенная доза составляет 100 мГр.

8.6. На химически опасном объекте, расположенном на некотором расстоянии от университета, произошла авария ёмкости с химически опасным веществом. Определите ~~степень и разряд химической опасности объекта; радиус первичного очага поражения; глубину распространения облака с пороговой концентрацией; площадь очага поражения и заражения по следу; ширину и высоту подъёма ядовитого облака; время, за которое опасные вещества достигнут объекта и совершат поражающее действие.~~ Оцените возможное число жертв студентов и сотрудников университета. Исходя из характера отравляющего вещества, выберите средства индивидуальной защиты и наиболее целесообразные действия по защите людей. Исходные данные для заданий формируются в виде набора букв и чисел, соответствующих позиции и её значениям, приведённым в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Позиция	Значение позиции	Параметр	Значение параметра или задаваемое условие
А	1а	Наименование химически опасного вещества	Аммиак (под давлением)
	1б		Аммиак (изотермическое хранение)
	2		Хлор
	3		Фосген
	4		
	5		Синильная кислота
	6		Сероводород
	7		Диоксид азота
Б	8		Хлорпикрин
			По выбору преподавателя
	1	Масса, т	1
	2		5
	3		10
	4		25
	5		50
	6		100
	7		500
В	1	Условие хранения	Наземное (необвалованная ёмкость)
	2		То же (обвалованная ёмкость)
	3		Подземный склад
Г	1	Время суток	Утро
	2		День
	3		Вечер
	4		Ночь
Д	1	Атмосферные условия	Ясно
	2		Полужасно
	3		Пасмурно

Е	1	Скорость ветра, м/с	Менее 0.5
	2		1
	3		2
	4		3
	5		4
	6		5
	7		8
Ж	1	Температура воздуха, °С	-20
	2		0
	3		20
З	1	Местность	Открытая
	2		Закрытая (город)
И	1	Условия защиты людей	Открытая местность
	2		Здание или укрытие
К	1	Обеспеченность людей противогазами, %	0
	2		20
	3		40
	4		50
	7		100
Л	1	Расстояние от места аварии до объекта, км	1
	2		3
	3		5
	4		10
М	1	Расстояние от места аварии до реки, км	1
	2		2
	3		4
	4		10

Примечание. Задание на расчёт формируется из всех букв таблицы, например А2-Б2-В1-Г3-Д2-Е1-З2-И1-К2-Л2-М4.

## 9. РАССЛЕДОВАНИЕ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ

### 9.1. Общие сведения

В соответствии с X разделом Трудового кодекса РФ расследованию и учёту подлежат несчастные случаи, произошедшие с работниками и с другими лицами, участвующими в производственной деятельности работодателя (в том числе с лицами, подлежащими обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний), при исполнении ими трудовых обязанностей или выполнении какой-либо работы по поручению работодателя (его представителя), а также при осуществлении иных правомерных действий, обусловленных трудовыми отношениями с работодателем либо совершаемых в его интересах.

К лицам, участвующим в производственной деятельности работодателя помимо работников, исполняющих свои обязанности по трудовому договору, в частности относятся:

- работники и другие лица, проходящие профессиональное обучение или переобучение в соответствии с ученическим договором;
- студенты и учащиеся образовательных учреждений всех типов, проходящие производственную практику;
- лица, страдающие психическими расстройствами, участвующие в производительном труде на лечебно-производственных предприятиях в порядке трудовой терапии в соответствии с медицинскими рекомендациями;
- лица, осужденные к лишению свободы и привлекаемые к исправительным работам;
- лица, привлекаемые в установленном порядке к выполнению общественно-полезных работ;
- члены производственных кооперативов и члены крестьянских (фермерских) хозяйств, принимающие личное трудовое участие в их деятельности.

Расследованию в установленном порядке как несчастные случаи подлежат события, в результате которых пострадавшими были получены телесные повреждения (травмы), в том числе нанесенные другим лицом; тепловой удар; ожог; обморожение; утопление; поражение электрическим током, молнией, излучением; укусы и другие телесные повреждения, нанесенные животными и насекомыми; повреждения вследствие взрывов, аварий, разруше-

ния зданий, сооружений и конструкций, стихийных бедствий и других чрезвычайных обстоятельств; иные повреждения здоровья, обусловленные воздействием внешних факторов, повлекшие за собой необходимость перевода пострадавших на другую работу, временную или стойкую утрату ими трудоспособности либо смерть пострадавших, если указанные события произошли:

- в течение рабочего времени на территории работодателя либо в ином месте выполнения работы, в том числе во время установленных перерывов, а также в течение времени, необходимого для приведения в порядок орудий производства и одежды, выполнения других предусмотренных правилами внутреннего трудового распорядка действий перед началом и после окончания работы или при выполнении работы за пределами установленной для работника продолжительности рабочего времени, в выходные и в нерабочие (праздничные) дни;
- при следовании к месту выполнения работы или с работы на транспортном средстве, предоставленном работодателем (его представителем), либо на личном транспортном средстве в случае использования личного транспортного средства в производственных (служебных) целях по распоряжению работодателя (его представителя) или по соглашению сторон трудового договора;
- при следовании к месту служебной командировки и обратно, во время служебных поездок на общественном или на служебном транспорте, а также при следовании по распоряжению работодателя (его представителя) к месту выполнения работы (поручения) и обратно, в том числе пешком;
- при следовании на транспортном средстве в качестве сменщика во время междусменного отдыха (водитель-сменщик на транспортном средстве, проводник или механик рефрижераторной секции в поезде, член бригады почтового вагона и другие);
- при работе вахтовым методом во время междусменного отдыха, а также при нахождении на судне (воздушном, морском, речном) в свободное от вахты и судовых работ время;
- при осуществлении иных правомерных действий, обусловленных трудовыми отношениями с работодателем либо совершаемых в его интересах, в том числе действий, направленных на предотвращение катастрофы, аварии или несчастного случая.

Материалы расследования несчастного случая включают:

- приказ (распоряжение) о создании комиссии по расследованию несчастного случая;
- планы, эскизы, схемы, протокол осмотра места происшествия, а при необходимости – фото- и видеоматериалы;
- документы, характеризующие состояние рабочего места, наличие опасных и вредных производственных факторов;
- выписки из журналов регистрации инструктажей по охране труда и протоколов проверки знания пострадавшими требований охраны труда;
- протоколы опросов очевидцев несчастного случая и должностных лиц, объяснения пострадавших;
- экспертные заключения специалистов, результаты технических расчетов, лабораторных исследований и испытаний;
- медицинское заключение о характере и степени тяжести повреждения, причинённого здоровью пострадавшего, или о причине его смерти, нахождении пострадавшего в момент несчастного случая в состоянии алкогольного, наркотического или иного токсического опьянения;
- копии документов, подтверждающих выдачу пострадавшему специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты в соответствии с действующими нормами;
- выписки из ранее выданных работодателю и касающихся предмета расследования предписаний государственных инспекторов труда и должностных лиц территориального органа соответствующего федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функции по контролю и надзору в установленной сфере деятельности (если несчастный случай произошел в организации или на объекте, подконтрольных этому органу), а также выписки из представлений профсоюзных инспекторов труда об устранении выявленных нарушений требований охраны труда;
- другие документы по усмотрению комиссии.

Расследование несчастного случая (в том числе группового), в результате которого один или несколько пострадавших получили легкие повреждения здоровья, проводится комиссией в течение трёх дней, а тяжелые повреждения здоровья либо несчастного случая (в том числе группового) со смертельным исходом – в течение 15 дней. При этом оформляется акт о несчастном случае на производстве, заполняемый по следующей форме.

**Форма Н-1**  
Один экземпляр направляется пострадавшему или его доверенному лицу

УТВЕРЖДАЮ

(подпись, фамилия, инициалы работодателя  
(его представителя))

“ ” 201 г.

М.П.

**АКТ № \_\_\_\_\_**  
**о несчастном случае на производстве**

1. Дата и время несчастного случая \_\_\_\_\_

(число, месяц, год и время происшествия несчастного случая,

количество полных часов от начала работы)

2. Организация (работодатель), работником которой является (являлся) пострадавший \_\_\_\_\_

(наименование, место нахождения, юридический адрес, ведомственная и отраслевая

принадлежность /ОКОНХ основного вида деятельности/; фамилия, инициалы работодателя –

физического лица)

Наименование структурного подразделения \_\_\_\_\_

3. Организация, направившая работника \_\_\_\_\_

(наименование, место нахождения, юридический адрес, отраслевая принадлежность)

4. Лица, проводившие расследование несчастного случая: \_\_\_\_\_

(фамилии, инициалы, должности и место работы)

5. Сведения о пострадавшем:

фамилия, имя, отчество \_\_\_\_\_

пол (мужской, женский) \_\_\_\_\_

дата рождения \_\_\_\_\_

профессиональный статус \_\_\_\_\_

профессия (должность) \_\_\_\_\_

стаж работы, при выполнении которой произошел несчастный случай \_\_\_\_\_

(число полных лет и месяцев)

в том числе в данной организации \_\_\_\_\_

(число полных лет и месяцев)

6. Сведения о проведении инструктажей и обучения по охране труда



## 9.2. Основные вопросы раздела занятий

9.1. Обязанности руководителя при несчастном случае.

9.2. Состав документов, которые должны быть подготовлены и представлены комиссии по расследованию несчастного случая.

9.3. Состав документов, которые комиссия подготавливает по завершении расследования несчастного случая.

9.4. Организация работ после итогов расследования несчастного случая для исключения подобных происшествий.

## 9.3. Задания по теме

9.1. В цехе произошёл несчастный случай и человек получил лёгкую травму с потерей пяти дней по больничному листу. Ваши действия как работодателя (нужно ли создавать комиссию по расследованию этого случая, если да, включать ли в неё начальника цеха как наиболее осведомлённого об обстоятельствах дела, и т. п.).

9.2. Где и какое время должен храниться акт о несчастном случае, произошедшем с работником, если он через год после этого уволился и перешёл на другую работу или же предприятие обанкротилось?

9.3. Разделитесь на две группы, представляющие руководство организации и представителей травмированного работника. Заполните акт о несчастном случае на производстве по форме Н-1. В дискуссионной форме обсудите его с заинтересованными сторонами. Найдите компромиссное решение.

### Список рекомендуемой литературы

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ.  
Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.  
ГОСТ 30324.0-95 (МЭК 601-1-88). Изделия медицинские электрические. Ч. 1. Общие требования безопасности. – Введ. 1996-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 139 с.  
НПБ 247-97. Электронные изделия. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний / ГУГПС МВД России. – М.: ВНИИПО, 1997. – 14 с.  
ПОТ Р М-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – Введ. 2001-01-07. – М.: Госэнергонадзор, 2000. – 95 с.

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: ИНФРА-М, 2004.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13 июня 2003 г. // Рос. газ. – 2003. – 21 июня.

СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2009.

СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. – М.: МЧС России, 2009.

Акустическая безопасность: учеб. пособие / под ред. В. Н. Павлова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2004. – 84 с.

Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. / В. Н. Павлов, В. А. Буканин, А. Е. Зенков и др. – М.: Изд. центр “Академия”, 2008. – 336 с.

Безопасность жизнедеятельности: лаб. прак. с использованием ЭВМ / под ред. В. Н. Павлова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2003. – 84 с.

Буканин В. А. Обеспечение безопасности при проектировании и эксплуатации индукционных электротермических установок. – СПб.: ОАО “Искусство России”, 2011. – 176 с.

Буканин В. А., Павлов В. Н., Трусов А. О. Безопасные и эффективные системы освещения. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2002. – 88 с.

Буканин В. А., Павлов В. Н., Трусов А. О. Химическая и радиационная безопасность: учеб. пособие / под ред. В. Н. Павлова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. 2012. – 48 с.

Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / – М.: Логос, 2010. – 424 с.

Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. Справочная книга по проектированию электрического освещения. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.

Организационные методы обеспечения электробезопасности: учеб. пособие / В. А. Буканин, А. А. Ковбасин, В. Н. Павлов, А. О. Трусов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2009. – 84 с.

Технические средства обеспечения электробезопасности: учеб. пособие / В. А. Буканин, А. А. Ковбасин, В. Н. Павлов, А. О. Трусов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2007. – 84 с.

Эргономика – человеческий фактор: учеб. пособие / Буканин В. А., Павлов В. Н., Товбин Г. М., А. О. Трусов; под ред. В. Н. Павлова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2003. – 80 с.

Электромагнитная безопасность человека: учеб. пособие / В. А. Буканин, А. А. Ковбасин, В. Н. Павлов, А. О. Трусов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2006. – 120 с.

## Содержание

1. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ .....	4
2. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ .....	19
3. ОСВЕЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА .....	27
4. ЗАЩИТА ОТ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ .....	30
5. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧЕМ (УЧЕБНОМ) МЕСТЕ .....	41
6. БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ НА КОМПЬЮТЕРЕ .....	46
7. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....	51
8. ХИМИЧЕСКАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....	64
9. РАССЛЕДОВАНИЕ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ .....	72
Список рекомендуемой литературы .....	78

Блажко Наталья Валерьевна, Буканин Владимир Анатольевич,  
Демидович Ольга Васильевна, Зенков Алексей Евгеньевич,  
Иванов Александр Николаевич, Павлов Владимир Николаевич,  
Петухова Светлана Васильевна, Трусов Александр Олегович

Практические задачи по безопасности жизнедеятельности

Учебное пособие

Редактор И. Б. Синишева

---

Подписано в печать 08.04.2013. Формат 60х84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура "Times New Roman."  
Печ. л. 5,0.  
Тираж 260 экз. Заказ 33.

---

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"  
197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5