КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем принципиальное отличие расчета количества воздуха, необходимого для общеобменной вентиляции, при электросварочных и окрасочных работах?
2. Почему при помощи общеобменной вентиляции невозможно создать нормальные условия труда при электросварочных работах?
3. Как повысить коэффициент эффективности вытяжной общеобменной вентиляции?
4. Почему не допускается использование ветрового напора для организации естественной вентиляции?
5. В чем отличие естественной вентиляции от сквозняка?
6. Какова доля местных потерь в общих потерях напора в вентиляционных сетях?

Глава 7. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

§ 7.1. ОСНОВНЫЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Освещенность цехов судостроительных предприятий нередко в полтора-два раза ниже норм, допускаемых строительными нормами и правилами (СНиП 11-4–79). Основными причинами этого являются несвоевременная реконструкция систем освещения и нарушения правил их эксплуатации.

В настоящее время светотехника переживает период интенсивного развития. Особенно это относится к источникам искусственного света. За последние 15–20 лет созданы новые типы газоразрядных ламп, отличающихся большой световой отдачей, что сделало возможным систематически пересматривать и увеличивать нормы освещенности. Например, в СНиП 11-В.6–58 для общего освещения газоразрядными лампами работ первого разряда подгруппы Г устанавливалась освещенность 750 лк, СНиП 11-А.9–71 – 1250 лк, а СНиП 11-4–79 – 1500 лк. Изменения нормируемой освещенности требуют периодической реконструкции систем освещения, что, однако, не всегда возможно.

Основным нарушением правил эксплуатации систем естественного и искусственного освещения является несоблюдение сроков очистки световых проемов и светильников от пыли, копоти и других загрязнений.

Любое физическое тело, имеющее температуру выше температуры окружающей среды, излучает энергию, которая называется *лучистой*. Источником такой энергии является движение электронов вокруг ядра.

Различают постоянную траекторию движения, которая соответствует нормальной энергии электронов, и траектории, по которым электроны вращаются при увеличении их энергии. Переход электронов с одной траектории движения на другую в электрическом поле ядра

сопровождается возникновением переменного электромагнитного возмущения и излучением порции энергии, которую называют *квантом энергии* или *фотоном*.

Мощность излучения энергии в единицу времени в светотехнике называется *лучистым потоком*, который равен $F' = W/t_1$, где W – мощность энергии излучения; t – время излучения.

В зависимости от длины волны энергии излучения различают радиоволны, электромагнитные колебания оптической области спектра и т. д. (рис. 7.1). Излучение оптической области спектра используется для создания искусственного освещения. Наука, занимающаяся изучением генерирования, распределения и перераспределения в пространстве электромагнитных колебаний оптической области спектра, называется *светотехникой*.

Встречая на пути распространения препятствия, энергия излучения частично ими поглощается и преобразуется в другие виды энергии (электрическую, химическую и т. д.). При этом часть энергии излучения преобразуется в тепловую. Препятствия, преобразующие лучистую энергию в другие виды энергии, называются *приемниками лучистой энергии*. Большинство приемников тепловую энергию не используют, поэтому для них она является потерянной. Лучистый поток, преобразованный приемником в полезную энергию, называется *эффективным потоком*.

Все приемники лучистой энергии характеризуются чувствительностью. Абсолютную чувствительность приемника замерить довольно сложно. В светотехнике используют относительную спектральную чувствительность $k_\lambda = F_\lambda / F'_\lambda$, где F_λ – эффективный лучистый поток с длиной волны λ; F'_λ – падающий лучистый поток с этой же длиной волны.

В природе существует много приемников, спектральная чувствительность которых лежит в различных областях оптической области спектра (рис. 7.2). Приемники могут быть физическими (фотоэлементы, люминофоры и т. д.) и биологическими (зрительный аппарат, зеленые листья растений и т. д.).

В зависимости от воздействия электромагнитных колебаний на зрительный аппарат человека оптическая область спектра делится на три части:

1) инфракрасную, охватывающую колебания с длинами волн 10^6 – 780 нм; зрительным аппаратом человека не воспринимаются;

2) видимую, охватывающую колебания с длинами волн 780–380 нм, т. е. вызывающую ощущение света;

3) ультрафиолетовую, охватывающую колебания с длинами волн 380–10 нм; эти колебания зрительным аппаратом не воспринимаются.

Таким образом, глаза человека воспринимают лучистую энергию только в очень небольшом диапазоне длины волн – от 380 до 780 нм. При этом максимальную чувствительность глаза будут иметь при колебаниях с длиной волны 555 нм. Эта чувствительность принята за единицу при измерении относительной чувствительности глаза.

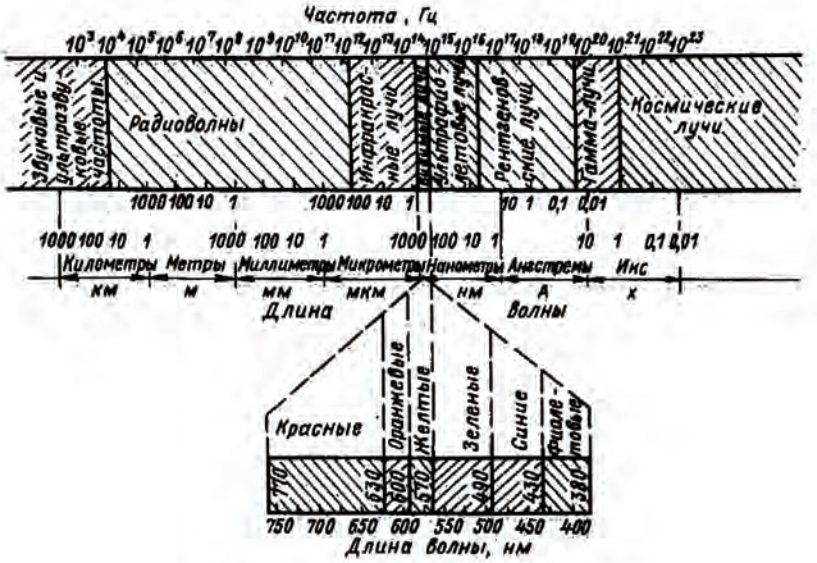

Рис. 7.1. Шкалы электромагнитных волн

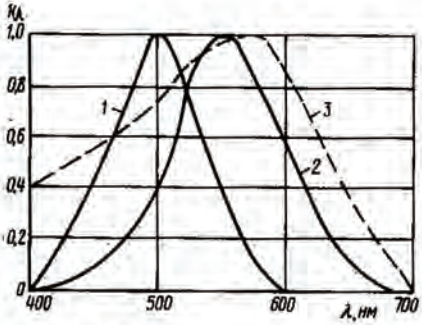

Рис. 7.2. Зависимость относительной чувствительности приемников от длины волны

1 — зрительного аппарата человека в дневное время; *2* — зрительного аппарата человека в ночное время; *3* — селенового фотоэлемента

Чувствительность глаза к лучистому потоку в дневное и ночное время не одинакова. Лучистый поток воспринимается нервными клетками глаза, которые делятся на две группы: колбочки и палочки. В палочках имеется очень чувствительное к лучистому потоку вещество – родопсин. Поэтому палочковый аппарат работает при небольшой освещенности и называется ночным. В колбочках имеется менее чувствительное вещество – йодопсин. Поэтому колбочковый аппарат работает в дневное время.

Лучистый поток, поглощенный колбочковым и палочковым аппаратами, преобразуется в биотоки, которые через нервные волокна воздействует на головной мозг, вызывая ощущение света. Величина таких сигналов находится в определенных пределах. Восприятию глазом светового потока в больших пределах, определяемых естественными условиями, помогает свойство саморегулирования, что достигается сужением зрачка и снижением чувствительности глаза к световому потоку.

Процесс саморегулирования, или приспособления к световому потоку, зрительного аппарата называется *адаптацией*. Различается темновая и световая адаптация. При темновой адаптации световая чувствительность глаза увеличивается, такая адаптация возникает при переходе от большой освещенности к меньшей и заканчивается через 30–60 мин. Световая адаптация – это процесс уменьшения чувствительности глаза при повышении освещенности, она заканчивается через 2–10 мин.

Палочковый аппарат не чувствителен к спектральному составу лучистого потока, поэтому в ночное время все кажется серым. Колбочковый аппарат различает частоту колебаний энергии излучения. В сетчатой оболочке глаза имеются колбочки трех видов, колбочки каждого из них реагируют на определенную длину волн, что вызывает ощущение одного цвета. В глазу имеются колбочки, реагирующие на красный, зеленый и синий цвета. Промежуточные цвета возникают при реагировании колбочек разного вида в определенной пропорции.

При решении практических вопросов светотехники использование лучистого потока не совсем удобно, так как необходимо указывать его спектральный состав и коэффициенты относительной чувствительности. Поэтому в светотехнике лучистый поток характеризуется параметрами, величины которых определяются с учетом ощущений, испытываемых глазами. Одним из таких параметров является световой поток.

Согласно решению Международной комиссии по освещенности, *световым потоком F* называется лучистый поток, вызывающий световые ощущения, величина которого определяется по относительной видности для адаптированного к свету глаза.

За единицу светового потока принят люмен (лм), равный излучению абсолютно черного тела площадью 0,504 6 мм^2 при температуре затвердевания платины (2046 К). Однородный лучистый поток с длиной волны $\lambda = 555$ нм ($K = 1$) мощностью 1 Вт создает световой поток 680 лм. При других значениях λ световой поток однородного излучения $F = 680\, K_\lambda F_\lambda$.

Точечный источник света посылает световой поток в пространство по различным направлениям. Поэтому величина светового потока не является полной характеристикой источника света. Для практических целей необходимо знать также и пространственное распределение света.

Представим себе точечный источник света, равномерно излучающий световой поток во всех направлениях. Тогда его величина в телесном углу, вершина которого совпадает с источником света, будет постоянной. Эта величина называется *силой света*, ее единица измерения кандела (кд). Силу света определяют по формуле

$$I_c = F_c/\omega, \tag{7.1}$$

где F_c – световой поток светильника в телесном углу ω.

Реальные источники света отличаются от точечных тем, что распределение их силы света в пространстве будет неравномерным. Для характеристики реальных источников света по результатам экспериментальных замеров строятся кривые светораспределения. За направление силы света принимается ось телесного угла, имеющего заданные размеры.

Для определения величины светового потока, приходящегося на поверхность, пользуются понятием поверхностной плотности светового потока, называемой *освещенностью*. Освещенность измеряется в люксах (лк) и определяется по формуле

$$E = F_c/S_o. \tag{7.2}$$

Глаз человека воспринимает освещенность в больших пределах – до 200 тыс. лк. Однако одновременно он может воспринимать освещенность объектов только в узком диапазоне освещенности. Переход от восприятия одной освещенности к другой требует адаптации (приспособления) и приводит к утомлению, временному снижению работоспособности и повышению опасности травмирования.

Таблица 7.1. **Величины коэффициентов светового потока**

Материал	Коэффициент		
	отражения ρ	поглощения α	пропускания τ
Белая бумага (тонкая)	0,45	0,15	0,4
Мех	0,75–0,9	0,15–0,1	–
Белая краска	0,7–0,8	0,3–0,2	–
Оконное стекло	0,08	0,02	0,9

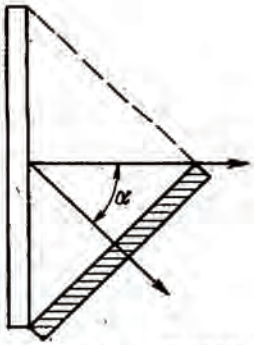

Рис. 7.3. Схема к определению яркости поверхности

Световой поток, падающий на любое препятствие ($F_п$), частично отражается ($F_{от}$), частично поглощается ($F_{пог}$) и частично проходит через него ($F_{пр}$). Так как

$$F_п = F_{от} + F_{пог} + F_{пр}, \qquad (7.3)$$

то после деления формулы (7.3) на $F_п$ получим

$$F_{от}/F_п + F_{пог}/F_п + F_{пр}/F_п = 1. \qquad (7.4)$$

Первое слагаемое в формуле (7.4) определяет количество отраженной энергии и называется *коэффициентом отражения* ρ; второе слагаемое характеризует количество поглощенной энергии и называется *коэффициентом светопоглощения* α, третье слагаемое характеризует количество прошедшей энергии и называется *коэффициентом светопропускания* τ (табл. 7.1).

Световой поток от источника света падает на поверхность. От поверхности он отражается и только после этого воспринимается зрительным аппаратом. Зрительное ощущение будет тем больше, чем большее количество светового потока воспринято глазом, т. е. чем лучше отражается световой поток.

Для определения зрительного ощущения вводится понятие *яркость*, т. е. отношение силы света, излучаемого поверхностью в данном направлении, к проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению (рис. 7.3). Яркость определяют по формуле $B = I_c/(S \cos \alpha)$. Для солнца в зените $B = 10^9$; для поверхности вольфрамовой нити лампы накала $B = 5{,}5 \cdot 10^6$; для люминесцентной лампы $B = 7 \cdot 10^3$.

§ 7.2. НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ

Освещенность нормируется „Строительными нормами и правилами. Естественное и искусственное освещение" (СНиП 2-4–79). Нормы устанавливают количественную (освещенность) и качественные (показатель ослепленности, контраст, и т. д.) характеристики освещенности, а также характеристики источников света (стробоскопический эффект, пульсации светового потока и т. д.).

В зависимости от влияния освещенности на производительность труда все виды работ делятся на восемь разрядов. Основой этого деления является необходимость различать минимальные размеры какого-либо объекта. К первому разряду относятся работы, при которых необходимо различать детали объекта размером до 0,15 мм, к последнему – работы, требующие только общего наблюдения.

Естественная освещенность в помещении изменяется в больших пределах и зависит от величины параметров световых проемов, времени суток и года, состояния погоды и т. д. Отношение естественной

освещенности в помещении E_c к наружной освещенности $E_н$ зависит только от величины параметров световых проемов. Это отношение называется *коэффициентом естественной освещенности*, определяют его по формуле $e_c = (E_c / E_н) \cdot 100\ \%$.

Все операции с естественным освещением (нормирование, расчет, контроль и т. д.) проводят с использованием коэффициента естественной освещенности. При нормировании его значение устанавливается из предположения, что наружная освещенность равна минимально допустимой, т. е. 5000 лк.

При проектировании и санитарном контроле величина нормируемого коэффициента естественной освещенности определяется по формуле $e_н = e_c cm$, где c – коэффициент солнечного климата; m – коэффициент светового климата; e_c определяется по нормативам.

Световой климат – это совокупность условий естественного освещения, определяемых географической широтой расположения конкретной местности. Территория бывшего СССР по световому климату разделена на пять поясов (рис. 7.4). Для пояса *I* $m = 1{,}2$, для пояса *II* $m = 1{,}1$, для пояса *III* $m = 1$, для пояса *IV* $m = 0{,}9$, для пояса *V* $m = 0{,}8$.

Коэффициент солнечного климата учитывает дополнительный световой поток, отраженный от поверхности Земли, и измеряется в пределах 0,6–1.

При нормировании освещенности учитывается также экономичность систем освещения. Нормируемая величина коэффициента естественной освещенности при боковом освещении значительно меньше, чем при верхнем и комбинированном. Аналогично и при искусственном освещении: комбинированная система освещения более экономич-

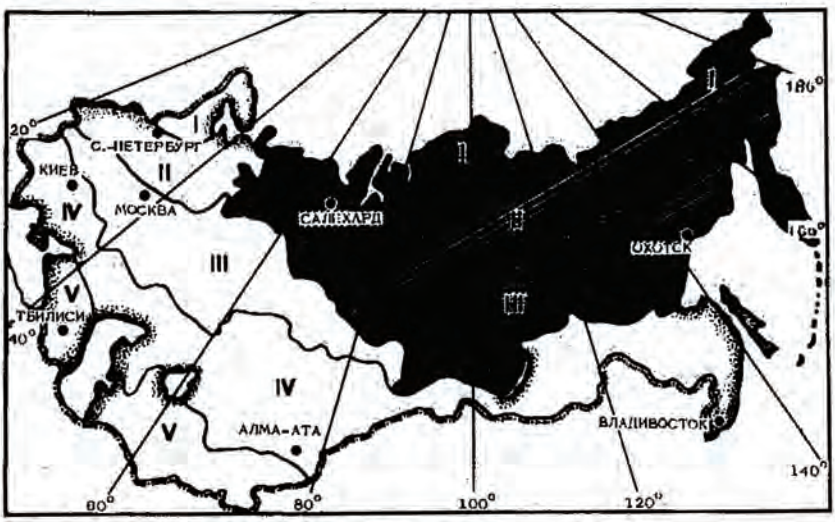

Рис. 7.4. Карта светового климата

I–V – световые пояса; заштрихована зона устойчивого снежного покрова

на, чем система общего освещения. Это позволило для такой системы предусмотреть бо́льшую освещенность.

Лампы накаливания имеют световую отдачу в 2–10 раз меньшую, чем газоразрядные. Поэтому для освещения промышленных зданий должны предусматриваться газоразрядные лампы. Лампами накаливания пользуются только в тех случаях, когда технически невозможно или экономически нецелесообразно применять газоразрядные лампы. При этом нормы освещенности лампами накаливания значительно меньше, чем газоразрядными лампами.

При нормировании освещенности СНиП учитывает также и качественные характеристики освещенности: фон, контраст, яркость и др.

Фоном называется степень отражения светового потока поверхностью. Фон характеризуется коэффициентом отражения ρ, при $\rho < 0{,}2$ фон называется темным, при $\rho = 0{,}2 \div 0{,}4$ – средним, при $\rho > 0{,}4$ – светлым.

Соотношение яркости фона поверхности и объекта называется *контрастом*. Он характеризуется коэффициентом контраста $K_к$, определяемым при яркости фона $B_ф$, меньшей яркости объекта $B_о$, по формуле $K_к = (B_о - B_ф)/B_о$. При $B_ф > B_о$ коэффициент $K_к = (B_ф - B_о)/B_ф$.

Зрительный аппарат человека может различать объект при каком-то минимальном контрасте. Этот контраст называется *пороговым*. Он зависит от освещенности, размера объекта, длительности экспозиций и т. д. В зависимости от яркости объекта и фона различают малый контраст ($K_к < 0{,}2$), средний ($K_к = 0{,}2 \div 0{,}5$) и большой ($K_к > 0{,}5$).

Видимостью объекта U называется способность глаза различать объект на фоне. Видимость определяется по формуле $U = K_о/K_{пор}$, где $K_о$ – контраст объекта с фоном; $K_{пор}$ – пороговое значение контраста.

При определенных величинах освещенности и контраста видимость объекта ухудшается. Это явление называется *ослепленностью*, ее определяют при помощи показателя ослепленности $P' = [(U_1/U_2) - 1] \cdot 1000$, где U_1 – видимость объекта, освещаемого диффузным светом; U_2 – видимость объекта, освещаемого данной системой освещения.

Показатель ослепленности для светильников общего освещения нормируют в зависимости от разряда работ и времени пребывания людей в помещении.

При освещении газоразрядными лампами в результате питания их переменным током и небольшой инерционности этих ламп возможна пульсация светового потока, а следовательно, и освещенности поверхности. Критерием оценки этого явления служит коэффициент пульсации $K_п$, определяемый по формуле $K_п = (E_{max} - E_{min})/(2E_{ср})$. Величина коэффициента пульсации также ограничена в зависимости от разряда работ и применяемой системы освещения.

С учетом вышеизложенных требований разрабатываются отраслевые нормы освещенности, которые используются при проектировании предприятий, а также при санитарном контроле.

§ 7.3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТА

В соответствии с делением приемников световой энергии на биологические и физические приборы световых измерений могут быть субъективными и объективными.

Основой работы субъективных приборов световых измерений является способность зрительного аппарата человека сравнивать освещенность двух поверхностей. Недостаток этих приборов в том, что величина разности освещенности двух поверхностей зависит также и от субъективных характеристик зрительного аппарата человека, а это затрудняет их использование.

К субъективным приборам относится линейный фотометр для измерения силы света (рис. 7.5). Он представляет собой фотометрическую скамью, на которой укреплены три подвижные каретки. На крайних каретках крепят эталонный источник света (сила света $I_э$) и исследуемый источник света (сила света $I_и$), на средней – фотометрическую головку, которая состоит из бариевой приемной пластинки (*ФГ*). От пластинки свет отражается и попадает в световые кубики, затем в окуляр. Задача оператора – при помощи передвижения каретки добиться одинаковой освещенности пластинки с двух сторон.

Из формулы (7.1) $F_с = I_с\omega$. Так как $\omega = S_ш/l^2$ ($S_ш$ – площадь поверхности шара, ограниченная телесным углом ω; l – радиус шара), то $S_ш = l^2\omega$. С учетом формулы (7.2) получаем

$$E = \frac{F_с}{S_ш} = \frac{I_с\omega}{l^2\omega} = \frac{I_с}{l^2} = \frac{I_э}{l_э^2} = \frac{I_и}{l_х^2}, \qquad (7.5)$$

где $l_э$ – расстояние между фотометрической головкой и эталонным источником света; $l_х$ – расстояние между фотометрической головкой и исследуемым источником света. Из формулы (7.5) получаем $I_и = I_э l_х^2/l_х^2$.

Объективные методы измерений основаны на закономерностях преобразования энергии излучения в электрическую физическими приемниками. В этом случае точность измерений зависит от чувствительности прибора к спектральному составу энергии излучения.

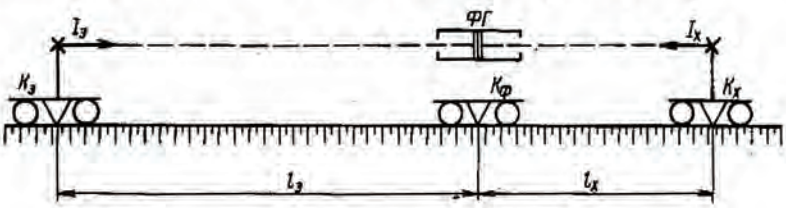

Рис. 7.5. Схема линейного фотометра

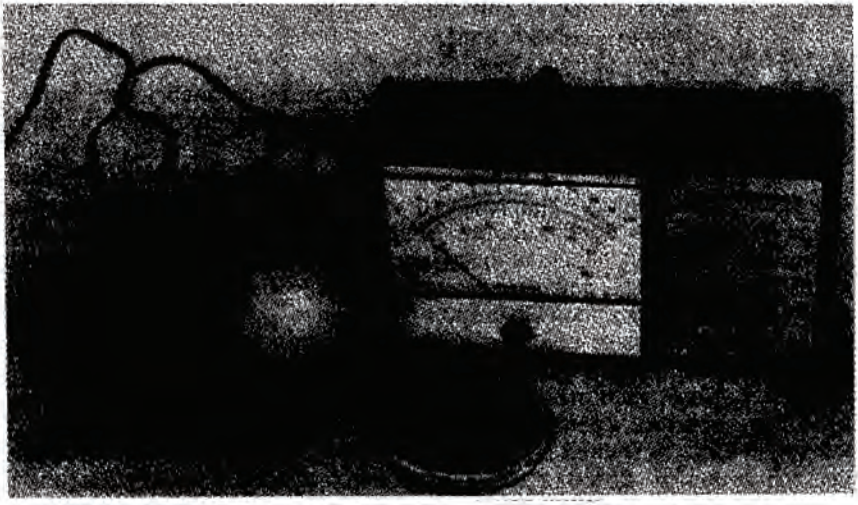

Рис. 7.6. Общий вид люксметра Ю-116

Наиболее распространенным объективным прибором для измерения освещенности является люксметр Ю-116 (рис. 7.6). Он состоит из фотоэлемента, в котором энергия излучения преобразуется в электрический ток, и гальванометра, измеряющего силу этого тока. Сила тока зависит не только от абсолютной величины освещенности, но и от чувствительности фотоэлемента к спектральному составу энергии излучения, поэтому не отражает зрительного ощущения человека.

Для устранения этого недостатка фотоэлемента применяют корректирующие коэффициенты, на которые умножают показания люксметра. Люксметр отградуирован в люксах для источника света с цветовой температурой 2800 К, т. е. применительно к лампам накаливания. При замерах освещенности другими источниками света необходимо показания прибора умножить на поправочный коэффициент: для ламп ЛД он равен 0,9, для ламп ЛБ – 1,1, для ДРЛ – 1,2, при естественном освещении он равен 0,8.

§ 7.4. ВИДЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Естественное освещение возможно через односторонние и двухсторонние боковые световые проемы, а также через верхние световые проемы и их сочетания с боковыми.

Одностороннее боковое освещение (рис. 7.7, *а*) отличается большой неравномерностью освещенности. Минимальная освещенность рабочих мест наблюдается при их максимальном удалении от световых проемов. Одностороннее боковое освещение применяется при расположении

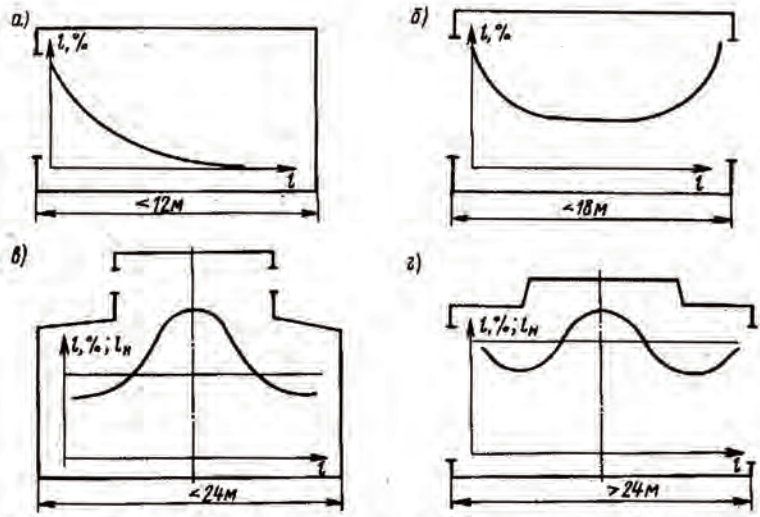

Рис. 7.7. Распределение освещенности: *а* – при одностороннем боковом освещении; *б* – при двухстороннем боковом освещении; *в* – при верхнем освещении; *г* – при комбинированном освещении

рабочих мест на расстоянии трехкратной высоты от пола до верхней границы окна, но не более чем на 12 м от окна. Нормируется минимальная освещенность, т. е. освещенность самого удаленного рабочего места от световых проемов.

При двухстороннем боковом освещении (рис. 7.7, *б*) освещенность помещения более равномерная. Минимальная освещенность будет на середине помещения. Двухстороннее освещение принимается при ширине здания не более 18 м. Нормируется также минимальная освещенность, т. е. освещенность рабочего места, расположенного на середине помещения.

Верхнее освещение отличается большой равномерностью освещения рабочих мест (рис. 7.7, *в*). Световой поток поступает в помещение через световые фонари или через остекленную часть перекрытия. Применяется верхнее освещение при ширине здания более 18 м. Нормируется средняя освещенность помещения, которую определяют по формуле

$$I_{ср} = \frac{I_1/2 + I_2 + \ldots + I_{n-1} + I_n/2}{n-1},$$

где $I_1, \ldots, I_n$ – коэффициенты естественной освещенности в точках; n – количество точек (при расчетах необходимо определять освещенность не менее чем в пяти точках).

Комбинированное освещение (рис. 7.7, *г*) представляет собой сочетание бокового и верхнего освещения. Оно обеспечивает хорошую

равномерную освещенность рабочих мест, его применяют при ширине здания более 24 м. Нормируется также средняя освещенность.

Ширина фонаря должна быть не менее половины ширины здания. Устройство световых проемов должно обеспечивать их легкую очистку, которая в помещениях с незначительным выделением пыли, дыма и копоти должна выполняться не реже двух раз в год, а при значительном – не реже четырех раз в год.

При естественном освещении допускается как сплошное остекление, так и остекление отдельных участков, располагаемых на равном расстоянии друг от друга. Расстояние от крайних световых проемов до торцевой части стены здания не должно превышать половины расстояния между световыми проемами.

Количество слоев остеклений принимается в зависимости от разности температуры в здании и наружной температуры, а также расстояния от световых проемов до рабочих мест.

§ 7.5. ИСТОЧНИКИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Устройство, преобразующее электрическую энергию в световую, называется *источником искусственного света.* Его основные характеристики: световая отдача $b = F_c/P$, где P – мощность источника света, Вт, и коэффициент полезного действия $\eta_и = P_п/P$, где $P_п$ – полезная мощность источника света, Вт.

В зависимости от механизма преобразования электрической энергии в световую источники света делятся на тепловые и газоразрядные.

В тепловых источниках света световая энергия образуется в результате перехода электрической энергии в тепловую, которая приводит к повышению температуры тела. При повышении температуры тела увеличивается мощность энергии излучения и изменяется ее спектральный состав. Видимый участок спектра образуется при температуре более 500 К, его максимальная интенсивность будет при температуре тела 6500 К. При дальнейшем повышение температуры тела спектр энергии излучения смещается в сторону невидимого ультрафиолетового диапазона. При этом даже при температуре 6500 К в световую энергию преобразуется только 14 % подводимой к телу электрической энергии.

К тепловым источникам света относятся лампы накаливания. В качестве тела, излучающего световую энергию, используется вольфрамовая нить, температура плавления которой 3200 К. Максимальная рабочая температура нити 2900 К. Этой температуре соответствуют световая отдача 23 лм/Вт и КПД около 3 %. Спектральный состав света смещен в сторону инфракрасного излучения.

Достоинства ламп накаливания – простота конструкции и возможность включения непосредственно в электрическую сеть. Недостатки – низкий КПД и отличие спектрального состава света от естественного, к которому приспособлен зрительный аппарат человека.

Лампы накаливания выпускают вакуумными и газонаполненными. По ГОСТ 2239–79 промышленность выпускает лампы: спиральные с аргонным наполнением (НГ), биспиральные с аргонным наполнением (НБ), с йодным наполнением (КИ), с криптонным наполнением (НКБ).

Дальнейшим совершенствованием ламп накаливания явилась разработка йодных ламп. Их особенностью является то, что к инертному газу при заполнении лампы добавляется йод из расчета 0,1 мг на 1 м^3 газа. Это позволяет увеличить световую отдачу до 29 лм/Вт (табл. 7.2).

Газоразрядный источник света – это прибор, преобразующий электрическую энергию в световую в результате электрического разряда в среде инертных газов, паров металлов и их смесей.

В общем случае устройство газоразрядной лампы можно представить следующим образом (рис. 7.8). Стеклянная трубка *3* герметически

Таблица 7.2. **Основные характеристики источников света (U = 220 В)**

Тип лампы	Мощность P, Вт	Световой поток $F_и$, лм	Световая отдача b, лм/Вт
	Лампы накаливания общего назначения		
Г	750	13 100	17
Г	1500	29 000	19
	Лампы накаливания для местного освещения		
МО 12-15 (U = 12 В)	15	200	13
МО 336-100 (U = 36 В)	100	1200	12
	Кварцевые галогенные лампы		
КГ-220-1000-5	1000	22 000	22
КГ-220-10 000-1	10 000	220 000	22
	Ртутные лампы низкого давления		
ЛХБ 20-4	20	935	47
ЛХБ 30-4	30	1720	57
ЛБ 80-1	80	4160	52
	Ртутные лампы высокого давления		
ДРЛ 80	80	3200	40
ДРЛ 1000	1000	50 000	50
ДРИ 2000	2000	190 000	95
	Ксеноновые лампы		
ДКсТ 5000	5000	98 000	19
ДКсТ 50 000	50 000	2 230 000	44

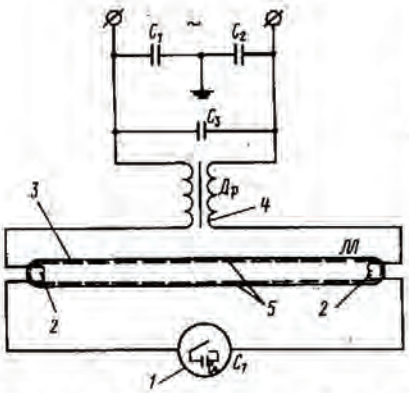

Рис. 7.8. Схема газоразрядной лампы

закрывается, вакуумируется и заполняется газом. При нормальной температуре газ электрического тока не проводит, поэтому на ее концах устанавливаются два последовательно включенных через тепловое реле *1* электрода *2*. При включении лампы ток сначала проходит через электроды. Температура газа в лампе повышается. При какой-то его температуре происходит пробой газового промежутка. В это время тепловое реле размыкает электроды и электрический ток начинает проходить только через газ.

При прохождении тока через газ повышается его температура, что снижает сопротивление газового промежутка. Так как напряжение остается постоянным, то сила тока увеличивается. При этом сопротивление газового промежутка может уменьшаться до очень малой величины, что может привести к возрастанию силы тока до величины, разрушающей лампу. Для ограничения силы тока последовательно с электродами включают балластное сопротивление *4*.

При прохождении электрического тока через лампу температура газа повышается до 5000–6000 К. Подводимая к лампе энергия при такой температуре распределяется следующим образом: видимый спектр – 1 %, тепловые потери – 34 %, ультрафиолетовый спектр – 65 %.

Некоторые вещества при облучении ультрафиолетовым лучистым потоком способны светиться, т. е. как бы преобразовывать ультрафиолетовую энергию в видимую, например галофосфат кальция, активированный марганцем и сурьмой. Эти вещества называются люминофорами. Они позволяют резко повысить световую отдачу газоразрядных ламп и изменить спектральный состав света.

В зависимости от газа-наполнителя различают ртутные, ксеноновые и натриевые лампы.

Ртутные лампы в зависимости от состава люминофора делятся на пять групп: лампы белого света (ЛБ), лампы теплого белого света (ЛТБ), лампы холодного белого света (ЛХБ), лампы дневного света (ЛД), лампы дневного света с исправленной цветопередачей (ЛДЦ). Максимальную световую отдачу (75 лм/Вт) имеют лампы ЛБ (см. табл. 7.2), минимальную (30 лм/Вт) – лампы ЛДЦ.

Основной недостаток этих ламп – небольшая мощность (до 80 Вт) и значительные габариты. Поэтому их применяют для освещения небольших помещений (служебных, коридоров и др.), а также помещений высотой до 3 м.

Ртутные лампы высокого давления, или дуговые ртутные лампы (ДРЛ), представляют собой грушевидную стеклянную колбу (аналогичную

лампам накаливания), внутри которой находится небольшая газоразрядная трубка из специального жаропрочного кварцевого стекла (рис. 7.9, *а*). Это позволило повысить давление паров ртути и увеличить мощность ламп до 2 кВт, сохранив световую отдачу порядка 50–60 лм/Вт. Лампы ДРЛ в настоящее время широко применяются для освещения судостроительных цехов.

Лампы сверхвысокого давления отличаются от ламп высокого давления только тем, что в них давление паров ртути очень велико. Эти лампы позволяют получать источник света очень высокой яркости, что и определяет область их применения: в прожекторах, киноаппаратах и т. д. Для освещения промышленных зданий их не применяют.

В ксеноновых лампах вместо паров ртути используют ксенон. Это позволило создать источники света со световой отдачей 60–100 лм/Вт

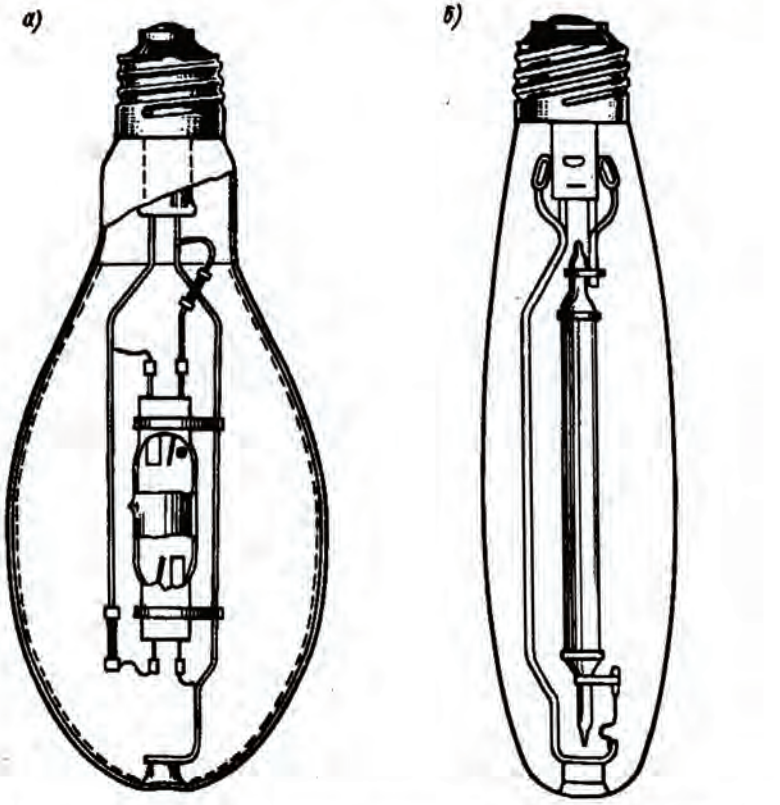

Рис. 7.9. Схемы ртутной лампы высокого давления (*а*) и натриевой лампы (*б*)

и мощностью 100 кВт. В этих лампах около 70 % энергии расходуется на создание ультрафиолетового излучения. При освещенности более 100 лк происходит большая облученность ультрафиолетовым излучением, что может привести к ожогам (типа солнечных) открытых участков тела. Это ограничивает область применения таких ламп в основном освещением открытых пространств.

Натриевые лампы (рис. 7.9, *б*) позволяют получить максимальную световую отдачу – 175 лм/Вт. Однако плохой спектральный состав света ограничивает область их применения. Эти лампы применяют для освещения улиц и площадей. В настоящее время они совершенствуются.

Недостатком газоразрядных ламп является сложность их включения в электрическую сеть, что приводит к удорожанию светильников, а также пульсации светового потока, вызванной небольшой инерционностью при питании переменным током. Пульсация светового потока может привести к стробоскопическому эффекту, т. е. искажению восприятия вращающихся, двигающихся или сменяющихся объектов.

§ 7.6. СВЕТИЛЬНИКИ

Светильником называется устройство многоцелевого назначения, предназначенное для крепления источника света, обеспечения безопасности его эксплуатации, перераспределения светового потока в пространстве и т. д.

Основными характеристиками светильников являются: коэффициент полезного действия $\eta_c = (F_c / F_и) \cdot 100$ % и коэффициент оптимального отношения расстояния между светильниками к высоте

$$\lambda = L/H, \tag{7.6}$$

где $F_и$ – световой поток источника света, лм; F_c – световой поток светильника, лм; L – расстояние между светильниками, м; H – высота подвеса светильника.

Величина коэффициента λ определяется следующим образом. Предположим, что горизонтальная поверхность освещается светильником. Тогда максимальная освещенность будет на оси светильника. С удалением от оси светильника освещенность уменьшается. Между светильниками освещенность будет определяться световыми потоками двух смежных светильников.

Общую освещенность в любой точке поверхности можно получить путем суммирования освещенности первого и второго светильников, при правильном расположении которых она будет минимальной между светильниками. Таким образом, освещенность горизонтальной поверхности будет изменяться от максимальной E_{max} на оси светильника до минимальной E_{min} между светильниками.

Равномерность освещения оценивается отношением E_{min}/E_{max}, величина которого чем больше, тем лучше для зрительного аппарата человека. Но с увеличением этого отношения возрастают и расходы

на освещение. Допустимой считается величина коэффициента λ, обеспечивающая $E_{min}/E_{max} = 1/3$. Для каждого конкретного светильника это – постоянная величина, которая приводится в паспорте или справочнике по данным завода-изготовителя (табл. 7.3).

Одна из основных целей применения светильников – обеспечение безопасной эксплуатации источника света. Это достигается конструктивным исполнением светильников, в зависимости от которого они могут быть:

– открытыми, в которых источник света не изолирован от внешней среды;

– защищенными, в которых источник света изолирован от внешней среды, однако каких-либо уплотнений не предусмотрено;

– пыленепроницаемыми, у которых источник света изолирован от внешней среды, а уплотнение исключает проникновение пыли внутрь светильника;

– водозащищенными, у которых источник света изолирован от окружающей среды, а уплотнение исключает проникновение внутрь светильника воды даже при обливании его водой из шланга;

– взрывозащищенными, у которых предусмотрена защита, исключающая передачу возможного взрыва внутри светильника в окружающую среду.

Конструктивное исполнение светильников выбирают в зависимости от состава воздушной среды.

Таблица 7.3. **Основные характеристики светильников**

Тип	Назначение	Исполнение	Светораспределение	Номинальная мощность *P*, Вт	Коэффициент λ	КПД, %
ЛД	Общего освещения, диффузный	Открытое	Прямое косинусное	2 x 40; 2 x 80	1,4	75
ОДР	Общего освещения, диффузный с решеткой	То же	То же	2 x 40; 2 x 80	1,4	68
ОДОР	Общего освещения, диффузный с решеткой и перфорированным отражателем	" "	Преимущественно прямое косинусное	2 x 40; 2 x 80	1,5	75
ПВЛ-П	Освещение запыленных и влажных помещений	Пылевлагозащищенное	Прямое косинусное	2 x 40	1,5	68
ГсР	Освещение помещений с темными потолками и стенами	Открытое	То же	400, 700, 1000	0,9–1	–

Не менее важной целью применения светильников является перераспределение светового потока, обеспечивающее необходимую равномерность и экономичность освещения, в зависимости от которого различаются светильники прямого, рассеянного и отраженного света.

Светильники прямого света излучают в заданном направлении 90 % светового потока. К этой группе относятся светильники типов „Универсаль", „Глубокоизлучатель" и т. д. Достоинство этих светильников – большая экономичность. Недостаток – значительная контрастность освещения за счет глубоких теней. Светильники прямого света применяют в тех случаях, когда есть опасность потери светового потока, например для освещения открытых площадок,

Рис. 7.10. Светильники для газоразрядных ламп: *а* – ОДО; *б* – ШОД; *в* – НОГЛ; *г* – МЛ; *д* – ПВЛ6; *е* – РВЛ; *ж* – ПЛи; *з* – СПКс-3-20

Таблица 7.4. **Основные характеристики некоторых газоразрядных светильников**

Угол α °	Сила света *I*, кд, светильников		
	ШОД	Н4Б-300М	В4А-60
0	172/172	214	92
5	168/170	207	85
15	158/164	180	82
25	132/148	166	82
35	103/134	159	85
40	73/102	150	88
55	40/68	137	90
60	22/48	115	88
75	14/39	20	70
85	5/38	5	35
90	0/38	–	–
95	12/47	–	–
105	34/64	–	–
115	55/78	–	–
125	75/81	–	–
135	91/80	–	–
145	106/84	–	–
155	118/102	–	–
165	125/125	–	–
180	130/130	–	–

Примечание. Числитель – сила света в поперечном направлении, знаменатель – в продольном направлении.

помещений с темными потолками и стенами, при местном освещении и т. д.

Светильники рассеянного света практически равномерно излучают световой поток во всех направлениях. Это светильники типов „Молочный шар", „Люцетта" и т. д. Их достоинство – практически равномерное освещение. Недостаток – большие затраты на освещение за счет поглощения световой энергии потолками и стенами помещений. Поэтому такие светильники применяют только в помещениях с большим коэффициентом отражения, т. е. в помещениях со светлыми потолками и стенами.

Светильники отраженного света 90 % светового потока направляют на отражающую поверхность. После отражения световой поток поступает для освещения здания или помещения. Достоинствами таких светильников являются отсутствие теней и большая равномерность освещения. Их применяют в основном для архитектурного освещения.

Основные типы светильников для газоразрядных ламп показаны на рис. 7.10, а их характеристики приведены в табл. 7.4.

§ 7.7. ТИПЫ, ВИДЫ И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Для освещения производственных помещений и зданий строительными нормами и правилами (СНиП 2-4–79) допускается естественное, искусственное и смешанное освещение.

Естественное освещение – это прямой и отраженный свет небосвода, проникающий через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях зданий. Такое освещение предусматривается для всех помещений с постоянным пребыванием людей. Исключение – коридоры, проходы, санитарно-бытовые и некоторые другие помещения.

Искусственное освещение создается с помощью электрических ламп, как правило, газоразрядных. Такое освещение также предусматривается для всех производственных, служебных, общественных, вспомогательных и других помещений.

Совмещенное – это освещение, при котором недостаточное естественное освещение дополняется искусственным. Такое освещение допускается: для производственных помещений, где выполняются работы первого и второго разрядов; для производственных и других помещений, в которых по принятой технологии, организации производства и климатическим условиям имеют место объемно-планировочные решения, не обеспечивающие нормированную величину коэффициента естественной освещенности. Например, в многоэтажных зданиях с большой шириной, в одноэтажных многопролетных зданиях, имеющих пролеты большой ширины, и т. д.

При проектировании искусственного и совмещенного освещения необходимо учитывать возможность возникновения световой недостаточности из-за малой естественной освещенности и ее компенсации ультрафиолетовым облучением.

Для освещения промышленных зданий применяются основное (или рабочее), аварийное, эвакуационное и ремонтное освещение.

Основное освещение предназначено для освещения рабочих мест при нормальной работе предприятия. Его предусматривают для всех помещений и нормируют в зависимости от основных видов работ.

Аварийное освещение предназначено для освещения рабочих мест, на которых даже в случае аварии и отключения основной осветительной сети остановить работу невозможно (например, из-за возможного взрыва, пожара, опасности травмирования и т. д.). На промышленных предприятиях места установки светильников аварийного освещения согласовываются с технической и санитарной инспекциями и профсоюзной организацией предприятия. Освещенность при таком освещении должна быть не менее 5 % основного освещения, но не менее 2 лк внутри помещения и 1 лк на промышленных площадках. Питание идет от аварийного источника: аварийного распределительного щита или аварийного дизель-генератора.

Эвакуационное освещение предназначено только для освещения путей выхода людей при аварийной ситуации. Освещенность в этом случае должна быть не менее 0,5 лк внутри зданий и 0,2 лк на открытых площадках. Такое освещение устраивается в помещениях

с постоянно работающими в них людьми, если отсутствие света может вызвать при их выходе несчастные случаи, в проходах, служащих для эвакуации более 50 человек, и т. д. На судостроительных предприятиях такое освещение устраивается на участках раскроя и резки листового металла и ручных гибочных работ, в корпусообрабатывающих цехах, участках сборки секций и блоков в сварочно-сборочных цехах, проходах по палубам, трапам, внутри помещений ремонтируемых и строящихся судов в эллингах, доках, стапелях и т. д.

Ремонтное освещение предназначено для освещения при выполнении ремонтных работ. Для этого используют переносные светильники с питанием ламп от аккумуляторов. Никакие требования в этом случае к освещенности не предъявляются.

В зависимости от расположения светильников различаются следующие системы освещения: общего освещения с равномерным расположением светильников, общего освещения с локализованным расположением светильников, комбинированного освещения.

Система общего освещения с равномерным расположением светильников позволяет создать большую равномерность освещения. Однако затраты на освещение при этой системе будут максимальными.

Система общего освещения с неравномерным расположением светильников более экономична по сравнению с первой. Однако при использовании этой системы увеличивается контрастность освещения. Система применяется при необходимости создания повышенной освещенности, а также если невозможно местное освещение (в сборочно-сварочных, кузнечных цехах и т. д.).

Комбинированная система представляет собой сочетание одной из первых двух систем и местного освещения. Достоинство системы –

Таблица 7.5. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного освещения

Помещение	Разряд работы	Освещенность при газоразрядных лампах, лк	Освещенность при лампах накаливания, лк
С естественным светом, освещенность:	1–8		
наибольшая		500	100
наименьшая		150	50
Без естественного света	1а	750	300
	1б, 2а	600	300
	1в, 2б	500	300
	1г	300	200
	2в, 3а	400	300
	2г, 3б, 3в, 3г, 4, 5а, 5б	200	150

экономичность, недостаток – большая контрастность освещения. Систему рекомендуется применять при выполнении работ первого–четвертого разрядов.

Освещенность от светильников общего освещения должна составлять 10 % нормируемой освещенности, но не менее значений, указанных в табл. 7.5.

Применение одного местного освещения в производственных условиях не допускается.

В административных помещениях и лабораториях применяется архитектурное освещение, это – светящиеся панели и карнизы, ниши отраженного света, декоративные светильники и т. д.

Освещенность проходов и участков, где не производится работа, а также в помещениях, где выполняется работа первого–четвертого разрядов, должна составлять 25 % нормируемой освещенности, но не менее 50 лк при использовании газоразрядных ламп.

§ 7.8. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ

Расчет освещенности включает: расчет освещенности при заданных величинах параметров системы освещения или расчет величин параметров системы освещения, обеспечивающих заданную освещенность.

Расчет естественной освещенности. Предположим, что необходимо определить освещенность в точке *А* (рис. 7.11). К данной точке световой поток поступает от открытого участка небесной сферы $e_п$ за счет отраженного света от соседнего здания $e_з$, многократного отражения от стен, потолков, оборудования и т. д. $e_о$. Величина коэффициента $e_т$ в расчетной точке в таком случае определяется из формулы

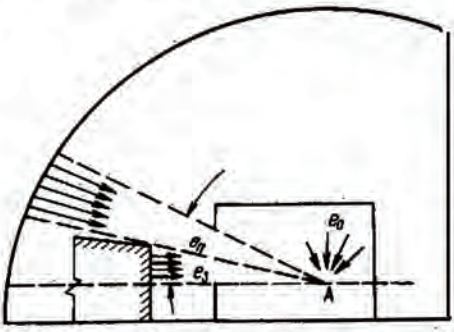

Рис. 7.11. Схема к расчету естественной освещенности

$$e_т = e_п + e_о + e_з. \qquad (7.7)$$

Входящий в формулу (7.7) коэффициент $e_п = e_{р.п} g$, где $e_{р.п}$ – коэффициент естественной освещенности световым потоком, поступающим от небесной сферы; g – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость небесной сферы, зависит от угла $\alpha_м$, образующегося горизонтальной поверхностью и прямой, соединяющей

расчетную точку с центром светового проема (рис. 7.12); величины коэффициента g приведены ниже:

$\alpha_м$, °	15	30	45	60	75	90
g	0,65	0,85	1	1,15	1,2	1,25

Величина коэффициента τ зависит от вида переплета, положения остекления, выделения пыли и т. д.

Коэффициент естественной освещенности световым потоком, поступающим от небесной сферы, из формулы (7.7) $e_{р.п} = 0{,}01 n_1 n_2$, где n_1, n_2 – количество лучей, определяемых по первому и второму графикам Данилюка. Эти графики разработаны для условий легкой сплошной облачности, т. е. при диффузном распространении светового потока путем деления полусферы небосвода на 10 тыс. участков, световые потоки которых равны.

Для определения количества лучей n_1, проходящих в здание, на график рис. 7.13, *а* наносится поперечный разрез здания через световые проемы в произвольно выбранном масштабе. Аналогично определяется количество лучей n_2 (рис. 7.13, *б*), но на этот график наносится горизонтальный разрез здания через световые проемы.

Коэффициент отраженности естественного света от здания, находящегося напротив, $e_з = 0{,}1 e_{р.з} \tau$, где $e_{р.з}$ – расчетная величина коэффициента естественной освещенности световым потоком, отраженным от здания, находящегося напротив.

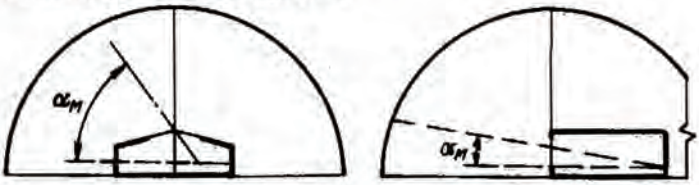

Рис. 7.12. Схема к определению угла $\alpha_м$

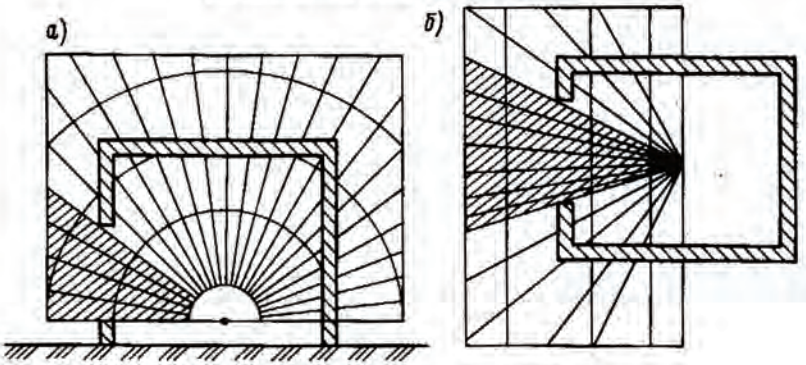

Рис. 7.13. Схема к определению лучей n_1 и n_2

Величина коэффициента $e_{р.з}$ определяется аналогично коэффициенту $e_{р.п}$ по графикам Данилюка.

Коэффициент $e_о = (e_п + e_з)(r - 1)$, где r – коэффициент, учитывающий повышение освещенности за счет отраженного света от стен и потолков.

Подставляя полученные значения коэффициентов $e_п$, $e_з$ и $e_о$ в формулу (7.7), после небольших преобразований получим $e_т = (e_{р.п}g + 0{,}1e_{р.з})\tau r$.

Для расчета параметров системы освещения, обеспечивающих заданную освещенность, сначала выбирают основные параметры световых приемов (количество слоев остекления и т. д.), затем определяют их площадь $S_в = S_о e_и \eta' k/(100\tau r)$, где η' – коэффициент, учитывающий параметры световых проемов; k – коэффициент, учитывающий повышение освещенности отраженным светом от соседнего здания.

Расчет искусственного освещения. Для освещения помещений и зданий применяют точечные источники света и светящиеся линии.

Точечный – это такой источник света, максимальный размер которого в пять раз меньше высоты его подвеса. Светящиеся линии образуются ртутными лампами низкого давления при их расположении в линию. Например, для освещения помещения высотой 7 м необходимо установить 12 светильников, длина которых 1,5 м, с лампами ЛБ-80.

Светильники можно расположить последовательно в виде сплошной линии или линии с промежутками (рис. 7.14, *а*), блоками (рис. 7.14, *б*) и раздельно (рис. 7.14, *в*). В первом случае можно считать, что помещение освещается светящейся линией, в последних – точечными источниками света.

Освещенность в точке, создаваемая точечным источником света (рис. 7.15), зависит от прямого светового потока, поступающего от светильника, и от потока, отраженного от стен и потолков.

При расчете световой освещенности в зависимости от того, какой световой поток учитывается, можно использовать следующие методы: с помощью коэффициента использования светового потока (или по световому потоку); точечный (или по силе света); комбинированный; светящимися линиями.

Расчет освещенности с помощью коэффициента использования светового потока. Примем, что коэффициент использования

$$\eta = F'_и / F'_с = (F_{пр} + F_{от})/F'_с, \qquad (7.8)$$

где $F'_и$ – используемый световой поток; $F'_с$ – общий световой поток от всех светильников.

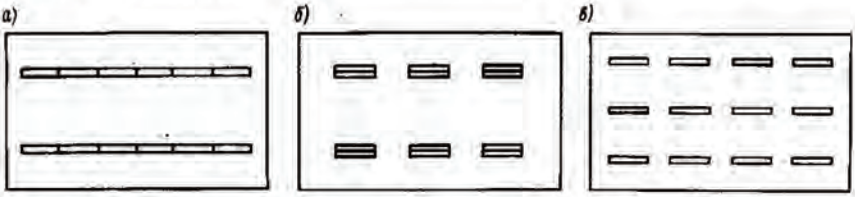

Рис. 7.14. Схема расположения светильников для ртутных ламп низкого давления

Используемый световой поток $F'_и = S_o E_{ср}$, где $E_{ср}$ – средняя освещенность. Общий световой поток светильников $F'_с = nF_с$, где n – количество светильников.

Подставляя полученные значения $F'_и$ и $F'_с$ в формулу (7.8), получим

$$\eta = S_o E_{ср}/(nF_с). \tag{7.9}$$

Минимальная освещенность устанавлиается СНиП 2-4–79. Для перехода в формуле (7.9) к минимальной освещенности вводится коэффициент равномерности освещения z, определяемый по формуле

$$z = E_{min}/E_{ср}, \tag{7.10}$$

где E_{min} – минимальная освещенность помещения, лк; $E_{ср}$ – средняя освещенность помещения, лк.

Величина коэффициента z зависит от типа светильника и находится в пределах 0,7–0,95. Из формулы (7.10) $E_{ср} = E_{min}/z$.

Световой поток, излучаемый светильником, изменяется во времени. Это связано с покрытием светильника пылью, уменьшением диаметра нити накаливания в лампах накаливания, изменением в люминофоре в газоразрядных лампах и т. д. Это уменьшение светового потока в расчетах учитывается коэффициентом запаса $K_з$ (табл. 7.6).

Подставив в формулу (7.9) полученные значения $E_{ср}$, после введения коэффициента $K_з$ будем иметь

$$\eta = S_o E_{min} k_з/(nF_с). \tag{7.11}$$

Коэффициент использования светового потока зависит от типа светильника, размеров помещения, окраски его стен и т. д. Для данных условий его величина постоянная, определяется он экспериментально, при расчетах принимается по табл. 7.7.

При расчете освещенности при заданных величинах параметров системы освещения сначала определяют показатель помещения $I = ab/[H(a + b)]$, где a, b – ширина и длина помещения; H – высота подвеса светильника. После этого по табл. 7.7 определяют коэффициент η, а затем минимальную освещенность в помещении по формуле (7.11).

Для расчета величин параметров системы освещения, обеспечивающих заданную освещенность, выбирают тип светильника и определяют коэффициент λ. Затем по формуле (7.6) находят расстояние между светильниками. Их количество определяют из выражения $n = S_o/L^2$, а световой поток одного светильника по формуле

$$F_с = S_o E_{min} k_з/(\eta n z). \tag{7.12}$$

Если рассчитанная по формуле (7.12) величина светового потока превышает номинальную величину светильника, то для снижения затрат на освещение рекомендуется в выбранной точке устанавливать несколько светильников.

Таблица 7.6. **Значения коэффициента запаса $K_з$**

Помещение	При естественном освещении и расположении светопропускающего материала			При искусственном освещении лампами	
	вертикально	наклонно	горизонтально	газоразрядными	накаливания
Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов (при $N > 5$)	1,5	1,7	2	2	1,7
Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сварочные, сборного железобетона (при $N < 5$)	1,4	1,5	1,8	1,8	1,5

Примечание. N — концентрация пыли в воздухе помещения, мг/м^3.

Таблица 7.7. **Коэффициенты использования светового потока некоторых типов светильников η, %**

Показатель помещения	Глубокоизлучатель эмалированный (ГЭ)			„Универсаль" без затемнителя (Убз)			„Универсаль" с матированным затемнителем (Умз)			„Универсаль" с опаловым затемнителем (Убз)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,5	19	21	25	21	24	28	14	17	21	12	15	19
0,7	29	31	34	32	35	38	23	26	29	20	24	28
1	36	38	40	40	42	45	30	32	35	27	30	33
1,5	41	43	46	46	48	51	35	37	40	32	34	38
2	44	46	49	50	52	55	39	40	43	36	38	41
3	49	51	53	55	57	60	43	45	47	41	43	46
5	52	54	57	58	60	63	46	48	51	45	47	50

Примечание. Для величин коэффициента η, приведенных в столбцах 2, 5, 8, 11, коэффициенты отражения потолка $\rho_п = 30$ и стен $\rho_{ст} = 10$; для величин коэффициента η, приведенных в столбцах 3, 6, 9, 12, $\rho_п = 50$ и $\rho_{ст} = 30$; для величин коэффициента η, приведенных в столбцах 4, 7, 10, 13, $\rho_п = 70$ и $\rho_{ст} = 50$.

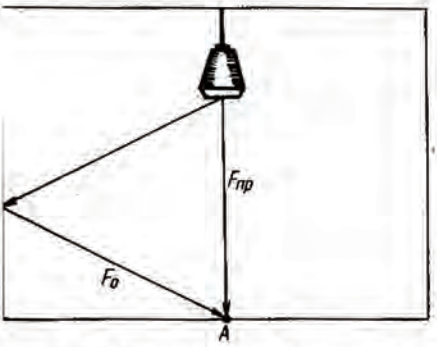

Рис. 7.15. Схема к расчету освещенности поверхности системой искусственного освещения

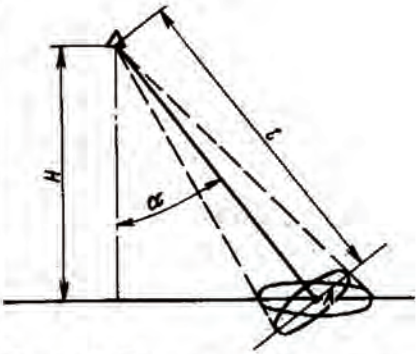

Рис. 7.16. Схема к расчету освещенности точечным методом

В связи с тем, что в расчете учитывается отраженный световой поток и определяется минимальная освещенность при оптимальном расстоянии между светильниками, то этот метод расчета применяется при наличии отраженного света, т. е. в помещениях со светлыми потолками и стенами, а также при равномерном оптимальном расположении светильников.

Расчет освещенности точечным методом (или по силе света). Освещенность в точке A, расположенной в плоскости, перпендикулярной направлению излучения силы света (рис. 7.16), по формуле (7.5) равна

$$E_п = F_c / S_п = I_c / l_1^2, \qquad (7.13)$$

где $S_п$ – площадь освещаемой поверхности в плоскости, перпендикулярной падению силы света, м^2; l_1 – расстояние точки от источника света, м.

Так как $H/l_1 = \cos\alpha$ и $l_1 = H/\cos\alpha$, то после подстановки полученного значения l_1 в формулу (7.13) и с учетом $k_з$ будем иметь

$$E_п = I_c \cos^2\alpha/(H^2 k_з). \qquad (7.14)$$

Недостатком формулы (7.14) является то, что для ее применения необходимо располагать данными о пространственном распределении силы света, которая зависит как от типа светильника, так и от мощности источника света.

Для упрощения расчетов по формуле (7.14) вводится понятие „эквивалентная лампа", т. е. лампа со световым потоком $F_э = 1000$ лм. Из формулы (7.1) $\omega = F_c / I_c$, тогда $F_c / I_c = F_э / I_э$, откуда $I_c = F_c I_э / 1000$, и формула (7.14) примет вид

$$E_п = F_c I_э \cos^2\alpha/(1000 H^2 k_з).$$

Освещенность горизонтальной поверхности

$$E_г = F_с / S_г, \qquad (7.15)$$

где $S_г$ – площадь освещаемой поверхности на горизонтальной плоскости (см. рис. 7.16).

Так как $S_п / S_г = \cos \alpha$, то

$$S_г = S_п / \cos \alpha. \qquad (7.16)$$

Подставив $S_г$ из формулы (7.16) в формулу (7.15), получим

$$E_г = \frac{F_с}{S_п} \cos \alpha = E_п \cos \alpha = \frac{F_с I_э \cos^3 \alpha}{1000 H^2 k_з}.$$

При расчете освещенности с помощью этого метода определяют освещенность в точке, создаваемой отдельно каждым светильником.

Общая освещенность в точке $E_т = E_1 + ... + E_n$, где $E_1, ..., E_n$ – освещенность в точке, создаваемой отдельными светильниками.

Данный метод применяется в тех случаях, когда можно пренебречь отраженным светом, т. е. в помещениях с темными потолками и стенами, местной, наружной освещенности и т. д.

Расчет освещенности комбинированным методом. При расчете освещенности комбинированным методом используются оба ранее рассмотренных метода. При этом с помощью первого метода определяется освещенность в точке, создаваемой только отраженным светом $E_{от}$, с учетом коэффициента использования отраженного светового потока $\eta_о$, который определяют по формуле $\eta_о = F_{от} / F_о$.

С помощью второго метода определяется освещенность прямым световым потоком $F_{пр}$, при этом общая освещенность в точке $E_т = E_{от} + E_{пр}$.

Расчет освещенности светящимися линиями. Для освещения помещений, имеющих небольшую высоту (до 3–4 м), применяют ртутные лампы низкого давления. Такие лампы имеют большую длину (0,8–1,5 м), незначительную мощность и, следовательно, небольшой световой поток (3000–4000 лм). Для создания нормируемой освещенности в помещении необходимо большое количество таких ламп.

Свет от светильников, установленных раздельно (см. рис. 7.14, *в*), вызывает неприятные ощущения, поэтому их раздельная установка применяется редко. Размещение светильников блоками (см. рис. 7.14, *б*) позволяет улучшить качественные и экономические показатели освещенности. Расположение светильников в виде светящихся линий (см. рис. 7.14, *а*) имеет наиболее широкое применение. Во всех указанных случаях при высоте помещений до 5 м светильники нельзя считать точечными, поэтому применять для расчета освещенности ранее рассмотренные методы нельзя.

Освещенность рассчитывается в точке A, расположенной в плоскости, проходящей перпендикулярно светящейся линии через ее конец (рис. 7.17, *а*), по формуле $E_т = F_п \lambda' \Sigma E_о / (1000 H)$, где $F_п$ – плотность светового потока, лм/м; λ' – коэффициент дополнительной

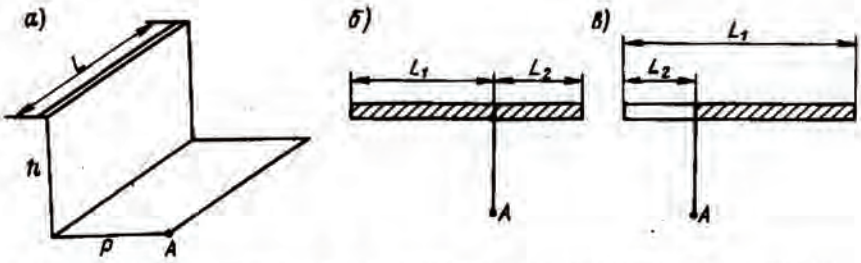

Рис. 7.17. Расположение точек при расчете освещенности светящимися полосами

освещенности, $\lambda' = 1{,}1 + 1{,}2$; ΣE_0 – суммарная относительная освещенность в точке от всех светящихся линий; H – высота подвеса светильника, м.

Плотность светового потока – это величина светового потока, приходящаяся на 1 м светящейся линии, определяемая по формуле

$$F_п = F_\lambda/(L_c + L_p). \tag{7.17}$$

Относительная освещенность в точке от одной светящейся линии

$$E_o = I_c E_y, \tag{7.18}$$

где E_y – условная освещенность.

Условная освещенность определяется по графику, приведенному на рис. 7.18. График строится для светящейся линии с плотностью светового потока 1000 лм/м, расположенной на высоте $H = 1$ м, в относительных координатах

$$L' = (L_p + L_c)/H; \tag{7.19}$$

$$B' = b/H, \tag{7.20}$$

где L_p – суммарное расстояние между светильниками; L_c – суммарная длина светильников; b – расстояние по горизонтали между вертикальной плоскостью, проходящей по линии, и расчетной точкой.

Если расчетная точка лежит против линии, то ее условно делят на две линии длиной L_1 и L_2 (см. рис. 7.17, *б*) и определяют освещенность от одной и другой линий (E_1 и E_2) отдельно по ранее рассмотренной методике. Тогда освещенность в точке

$$E_т = E_1 + E_2. \tag{7.21}$$

При расположении расчетной точки за пределами линии ее условно продлевают (см. рис. 7.17, *в*) и находят освещенность от линий длиной L_1 и L_2 по ранее рассмотренной методике, а освещенность в точке A определяют по формуле $E_т = E_1 - E_2$.

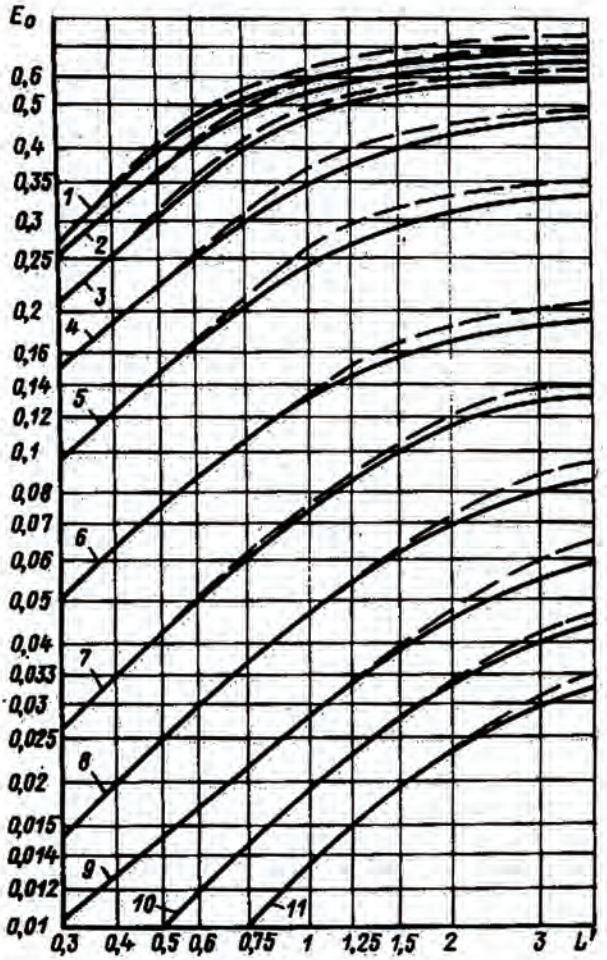

Рис. 7.18. Зависимость относительной освещенности $E_б$ от длины светильника L' при разных величинах параметра B'

1 – $B' = 0$, $\alpha = 0$; *2* – $B' = 0{,}25$, $\alpha = 14°$; *3* – $B' = 0{,}5$, $\alpha = 27°$; *4* – $B' = 0{,}75$, $\alpha = 37°$; *5* – $B' = 100$, $\alpha = 45°$; *6* – $B' = 1{,}5$, $\alpha = 57°$; *7* – $B' = 2$, $\alpha = 64°$; *8* – $B' = 2{,}5$, $\alpha = 68°$; *9* – $B' = 3$, $\alpha = 72°$; *10* – $B' = 3{,}5$; $\alpha = 74°$; *11* – $B' = 4$, $\alpha = 75°$

Для определения суммарной мощности светильников, обеспечивающей нормируемое значение освещенности, ориентировочно задаются каким-то количеством светильников и располагают их в две-три линии. После этого определяют: фактический световой поток линии

$$F_ф = F_c n; \qquad (7.22)$$

необходимую плотность светового потока

$$F'' = 1000 E_н k_з H/(\lambda' \Sigma F_у); \qquad (7.23)$$

необходимый световой поток линии

$$F_н = F''(L_с + L_р) \qquad (7.24)$$

и отношение $F_н / F_ф$. По полученному отношению корректируют световой поток, с учетом которого подбирают количество светильников и их мощность. Если они отличаются от принятого количества рядов светильников, то расчет повторяют с учетом полученного количества рядов.

Пример 1. Определить освещенность в точке *А* помещения, освещаемого тремя светящимися линиями, состоящими из светильников ШОД с лампами ЛБ-80, расположенными на высоте 4 м от пола. Расположение светильников показано на рис. 7.19.

Световой поток лампы ЛБ-80 равен 4160 лм. Тогда плотность светового потока в линии по формуле (7.17)

$$F_п = \frac{2 \cdot 4160 \cdot 10}{15} \approx 5500 \text{ лм/Вт}.$$

Относительные координаты точки *А* по формулам (7.17)–(7.21) равны $L' = 15/4 = 3{,}8$ и $B' = 2{,}8/4 = 0{,}7$.

Из рис. 7.19 видно, что в этих условиях $E_у = 0{,}5$. Угол α зависит только от величины B' и имеет следующие значения:

B'	0	0,09	0,27	0,47	0,7	1,0	1,19	1,43	1,73	2,14	2,75	3,73
α, °	0	5	15	25	35	45	50	55	60	65	70	75

При $B' = 0{,}7$ и $\alpha = 35°$ $I_с = 103$ кд, тогда относительная освещенность от первой и второй линий по формуле (7.17) $E_о = 2 \cdot 103 \cdot 0{,}5 = 103$ лк. Аналогично определяем относительную освещенность от третьей линии: при $B' = 2{,}1$, $\alpha = 60°$, $I = 22$ кД и $E_у = 0{,}13$ $E_о = 2$ лк.

Суммарная условная освещенность от трех линий равна 105 лк, и освещенность в точке

$$E_т = \frac{5500 \cdot 1{,}1 \cdot 105}{1000 \cdot 4} = 160 \text{ лк}.$$

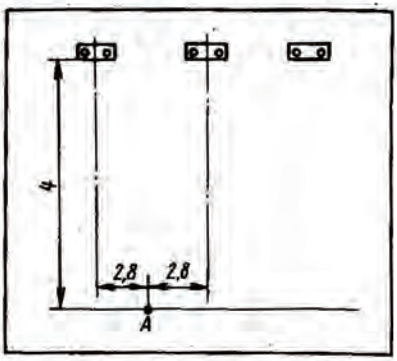

Рис. 7.19. Расположение светильников при расчете освещенности в примере 1

Пример 2. Определить количество светильников, обеспечивающих освещенность 200 лк в помещении, при условии, приведенном в примере 1.

Фактический световой поток от всех светильников при условии

приведенном в примере 1, по формуле (7.22) равен $F_ф = 8320 \cdot 30 = 249\,600$ лм.

Необходимая для создания освещенности 200 лк плотность светового потока по формуле (7.23) равна

$$F''_н = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 4 \cdot 1{,}3}{1{,}1 \cdot 105} \approx 9000 \text{ лм/м}.$$

Необходимый световой поток всех светильников по формуле (7.24) $F_н = 9000 \cdot 45 = 405\,000$ лм.

Соотношение необходимого светового потока к фактическому $F_н / F_ф = 1{,}6$, т. е. принятое в расчете количество светильников надо увеличить в 1,6 раза, $30 \cdot 1{,}6 = 54$. Так, в ряду можно установить 10 светильников, следовательно, необходимо установить шесть рядов светильников, тогда $B' = 1{,}4/4 = 0{,}35$; $\alpha = 20°$ и $E_у = 0{,}6 \cdot 2 \cdot 125 = 150$.

Пренебрегая освещенностью остальных линий, получаем

$$E = \frac{5500 \cdot 1{,}1 \cdot 150}{1000 \cdot 4} = 160 \text{ лк}.$$

§ 7.9. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЗРИТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Повреждения зрительного аппарата в зависимости от воздействия опасных производственных факторов можно разделить на травмы, химические и термические ожоги, повреждения энергией излучения и др.

Самая большая и разнообразная группа - механические травмы. Легкие травмы возможны в результате попадания в глаза мелких частиц, имеющих небольшую скорость движения: пылевых частиц, мелкой стружки и т. д. При большой скорости движения частиц и особенно отлетающих осколков, образующихся при рубке металлов, клепки и т. д., возможны тяжелые повреждения глаз. Характерно, что ранение мелкими осколками не приводит к таким резким болевым ощущениям, как при попадании в глаз пылевых частиц. Поэтому в каждом случае повреждения зрительного аппарата необходимо обращаться за помощью к врачу.

Нередки случаи химических ожогов глаз кислотами, щелочами, различными красителями и т. д. При этом ожоги кислотами вызывают резкую боль. Но ожоги кислотами не распространяются в глубину ткани, поэтому менее опасны, чем ожоги щелочами.

Щелочи, попав в глаза, сначала не вызывают сильной боли, что действует успокаивающе на пострадавшего. Но через несколько дней (шесть–восемь) состояние здоровья резко ухудшается и возможна полная потеря зрения. Это объясняется тем, что щелочь, не задерживаясь

на поверхности ткани, проникает в ее глубину и действует там разрушающе.

Большую опасность для глаз представляют этилированный бензин и метиловый спирт. Их попадание повреждает зрительный нерв и может привести к полной слепоте. При поражении этими веществами также наблюдается большой скрытый период их действия.

Очень опасно повреждение зрительного аппарата энергией излучения, особенно опасны ультрафиолетовые излучения, образующиеся при всех процессах, которые имеют высокую температуру отдельных элементов (сварка и резка металлов, горение электроламп и т. д.).

В большинстве случаев основное количество энергии излучения приходится на инфракрасное излучение (60–70 % при электросварке). Но так как инфракрасное излучение обладает небольшой энергией, то в большинстве случаев особой опасности не представляет.

Значительно меньше энергии общего излучения при сварке приходится на видимый участок спектра (20–25 %). Интенсивность этой энергии небольшая, поэтому без болезненных ощущений можно смотреть в зону горения сварочной дуги.

На ультрафиолетовое излучение, как правило, приходится небольшая доля от общего излучения (2–4 %). Ультрафиолетовое излучение не воспринимается зрительным аппаратом, но обладает энергей в 2,5–3 раза большей, чем инфракрасное излучение. Поэтому даже кратковременное воздействие ультрафиолетового излучения (5–10 мин) приводит к заболеванию слизистой оболочки глаза – электроофтальмии. Особенность этого заболевания – большой скрытый период, болевые ощущения появляются через 8–10 ч после облучения. Систематическое воздействие ультрафиолетового излучения вызывает помутнение хрусталика глаза (катаракту).

Для защиты глаз от повреждений применяют очки. Их конструкцию подбирают в зависимости от возможного воздействия вредного или опасного производственного фактора. Так, для защиты глаз от механических повреждений служат закрытые очки со специальными небьющимися стеклами; для защиты от воздействия энергии излучения в зависимости от интенсивности ее потока применяют закрытые или открытые очки с цветными стеклами необходимой плотности и т. д.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое световая энергия?
2. Назовите основные характеристики освещенности, источников света, светильников.
3. Почему нормативными документами для освещения промышленных помещений рекомендуются газоразрядные лампы?
4. Какие виды освещения должны быть предусмотрены для сборочно-сварочных, механических и кузнечных цехов?

5. Какие системы освещения должны быть предусмотрены для механических и сборочно-сварочных цехов?

6. Каким методом можно рассчитать освещенность в механическом и сборочно-сварочном цехах?

7. Как рассчитать освещенность помещения от ртутных ламп низкого давления?

8. Почему нельзя использовать ксеноновые и натриевые газоразрядные лампы в механических цехах?

9. Почему люксметр показывает не освещенность, а условные значения, при помощи которых получают освещенность?

Глава 8. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ, ШУМА, ИНФРА- И УЛЬТРАЗВУКОВ

§ 8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНФРА- И УЛЬТРАЗВУКАХ, ШУМЕ И ВИБРАЦИИ

Средний уровень шума на судостроительных предприятиях при норме 80 дБА достигает в корпусных цехах 98 дБА, в деревообрабатывающих 100 дБА, в слесарно-монтажных 102 дБА, а на рабочих местах в этих цехах соответственно 113, 112, 104 дБА. Если учесть, что повышение уровня звукового давления на 6–7 дБА равносильно повышению уровня громкости в два раза, то увеличение шума на 32 дБА увеличивает предельные санитарные нормы в 25–30 раз.

Большие уровни шума приводят к повреждению органов слуха. Повышение порога слышимости у судостроителей на 20 дБА при стаже работы до 5 лет составляет 24 % от допустимой нормы, при стаже 5–10 лет – 57 %, при стаже более 10 лет – 75 %, т. е. при стаже работы более 10 лет нормальным остается слух только у одного рабочего из четырех [22].

Велики и уровни вибрации, достигающие 110–115 дБ, которые являются причиной виброболезни. Удельное количество страдающих виброболезнью и профессиональной глухотой составляет 45 % от общего количества имеющих профессиональные заболевания.

В настоящее время анализ производственного травматизма и других заболеваний, вызванных нарушениями органов слуха, отсутствует. Однако можно констатировать, что при возникновении этих заболеваний влияние шума очень значительно.

Колебательные процессы, охватывающие области электромагнитных, воздушных, механических и других колебаний, – одни из самых распространенных процессов в природе.

Простейшая механическая колебательная система представляет собой груз, имеющий постоянную массу M и подвешенный на упругом элементе, например пружине C (рис. 8.1). В состоянии покоя груз

занимает какое-то определенное постоянное положение в пространстве. Вес груза уравновешен упругими силами пружины, т. е. равен силе растяжения пружины F. Если при помощи внешней силы вывести эту систему из равновесия, то груз начнет колебаться. Основные характеристики колебаний: амплитуда – максимальное перемещение точек, A, мм; частота колебаний – количество колебаний в секунду, f, Гц; колебательная скорость – скорость перемещения груза, υ, м/с; колебательное ускорение w, м/с^2.

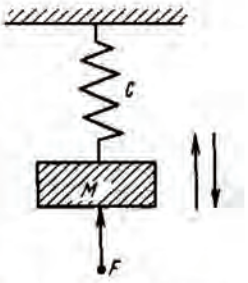

Рис. 8.1. Схема простейшей колебательной системы

Связь между этими величинами можно выразить следующим образом: $\upsilon = 2\pi fA$, $w = (2\pi f)^2 A$.

Различают свободные, вынужденные и резонансные колебания. *Свободными* называют колебания, которые совершаются под действием внутренних сил: инерционной – пропорциональной массе груза и скорости его движения, и упругой – пропорциональной деформации пружины. Действительно, при приложении внешней силы, приподнимающей груз, уменьшается упругая сила пружины. Поэтому когда удаляется эта сила, груз будет двигаться вниз. При возникновении движения появляется инерционная сила и груз приобретает запас кинетической энергии.

Максимальную скорость, а следовательно, и максимальный запас кинетической энергии груз будет иметь в точке равновесия; груз проходит эту точку и кинетическая энергия переходит в потенциальную. Деформация пружины по сравнению с состоянием равновесия будет увеличиваться.

Когда груз остановится в нижнем положении, кинетическая энергия полностью перейдет в потенциальную, деформация пружины будет максимальной и под ее действием груз начнет совершать обратное движение.

В идеальном случае, т. е. если бы потери энергии на трение отсутствовали, такая система находилась бы в колебательном состоянии все время. Однако в реальных системах часть энергии теряется на трение, поэтому амплитуда колебаний будет уменьшаться, т. е. колебания будут затухать.

Вынужденными называются колебания в тех случаях, когда они возникают под действием постоянной внешней силы, которая должна полностью возместить системе потери энергии на трение, например колебания маятника в часах.

Резонансными колебания называются тогда, когда частота свободных колебаний системы совпадает с частотой воздействия внешней силы. В этих случаях амплитуда системы все время увеличивается, что может явиться причиной механического разрушения системы.

Механизмы, оборудование и машины представляют сочетание отдельных элементов, деталей, частей, имеющих массу и обладающих упругостью материала, из которого изготовлены. Следовательно, они

являются самостоятельными колебательными системами. На эти системы в процессе работы периодически действуют силы. В одних случаях эти силы вызываются неуравновешенностью отдельных частей, в других – их инерционностью.

Так как отдельные элементы имеют заданные постоянные массу и упругость и на них действуют при установившемся режиме работы периодические силы с постоянной частотой, то каждый элемент оборудования совершает вынужденные колебания с постоянными частотой и колебательной скоростью. Эти колебания, накладываясь друг на друга, передаются на корпус, поэтому в целом оборудование совершает колебания в широком диапазоне частот.

Если взять, например, одноступенчатый редуктор, то в результате соударения зубьев зубчатые колеса будут совершать колебания с постоянными частотой и амплитудой. Кроме того, в результате неточности центровки валы также будут совершать удары по подшипникам. При этом здесь будет своя частота соударений, поэтому валы и подшипники будут колебаться со своими частотой и колебательной скоростью. Эти колебания, накладываясь друг на друга, будут передаваться на корпус, который будет совершать колебания в широком диапазоне частот.

Механические колебания отдельных частей оборудования называются *вибрацией*. Ее характеристиками являются рассмотренные ранее характеристики колебательных систем, т. е. амплитуда, частота, колебательная скорость, колебательное ускорение.

Минимальные значения колебательных скорости $\upsilon = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с и ускорения $w = 3 \cdot 10^{4}$ м/с, воспринимаемые человеком, называются *порогом ощущения*.

В результате колебания элементов оборудования часть вибрационной энергии передается и в окружающую среду. Общее количество этой энергии, передаваемой оборудованием в окружающую среду в единицу времени, называется *акустической* или *звуковой мощностью* и измеряется в ваттах (Вт).

При колебании в воздушной среде возникают зоны с повышенным и пониженным давлением. Когда груз движется вниз (см. рис. 8.1), то среда под грузом как бы сжимается и образуется зона с повышенным давлением. При этом частицы среды приобретают скорость поступательного движения, поэтому когда груз начинает двигаться вверх, зона с повышенным давлением продолжает двигаться в прежнем направлении и под грузом образуется зона с пониженным давлением.

При последующем движении под грузом опять образуется зона с повышенным давлением и т. д., т. е. зоны с повышенным и пониженным давлениями как бы чередуются и, приобретая поступательное движение в воздушной среде, расходятся вокруг оборудования.

Точно такие же изменения мгновенного давления появляются и вокруг колеблющихся частей и элементов машин, механизмов и оборудования. Эти мгновенные изменения давления называются *звуковым давлением* и измеряются в Па.

Колебания звукового давления с постоянной частотой называются *звуками*. Сочетание звуков различной частоты и их интенсивность, которые мешают нормальной работе человека, называются *шумом*.

Количество энергии, переносимой в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной направлению распространения волны, называется *силой* или *интенсивностью звука*.

Зависимость между силой звука I и звуковым давлением P, Вт/м², имеет вид

$$I = P^2/(\rho c). \tag{8.1}$$

Минимальные значения звукового давления и силы звука, воспринимаемые человеком, называются *порогом слышимости* (или восприятия). На частоте $f = 1000$ Гц они равны: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Максимальные значения звукового давления и силы звука, воспринимаемые человеком, называются *порогом болевого ощущения*. На частоте $f = 1000$ Гц они равны: $I_б = 10^2$ Вт/м² и $P_0 = 2 \cdot 10^2$ Па.

Характерную особенность восприятия силы звука органами слуха человека можно представить в виде логарифмической зависимости, т. е. при изменении силы звука в 10^{14} раз ее восприятие изменится только в 14 раз. Этим достигается как бы увеличение чувствительности слухового аппарата при уменьшении звукового давления.

Например, при изменении силы звука со 100 Вт/м² до 10 Вт/м², т. е. на 90 Вт/м², восприятие звука будет таким же, как и при уменьшении силы звука с 10 Вт/м² до 1 Вт/м², т. е. только на 9 Вт/м² или с 1 Вт/м² до 0,1 Вт/м², т. е. только на 0,9 Вт/м². Это свойство органов слуха человека позволяет им воспринимать силу звука в таких больших пределах.

С целью отражения свойства органов слуха человека изменять чувствительность с изменением силы звука для характеристики шума вводится понятие „уровень силы (интенсивности) звука", определяемое по формуле

$$L_1 = A_1 \lg I, \tag{8.2}$$

где A_1 – коэффициент пропорциональности; при $A = 10$ уровень силы шума измеряется в децибелах (дБ).

На практике в большинстве случаев надо узнать, на сколько уровень силы заданного звука L'_2 больше уровня силы другого звука L'_1, т. е.

$$L = L'_2 - L'_1. \tag{8.3}$$

Подставляя значения L'_2 и L'_1 из формулы (8.2) в формулу (8.3) получим

$$L = 10 \lg I_2 - 10 \lg I_1 = 10 \lg \frac{I_2}{I_1}. \tag{8.4}$$

Выражение (8.4) называется превышением уровня силы звука L'_3 над L'_1. Для упрощения сравнения полученных результатов условились во всех случаях в качестве I'_1 брать I_0, т. е. находить превышение уровня силы заданного звука L'_3 над порогом слышимости. Так как всегда определяется превышение уровня силы звука над порогом слышимости, то слова „над порогом слышимости" опускаются.

Таким образом по формуле (8.4) определяется уровень силы звука. Подставляя I из формулы (8.1) в зависимость (8.4), получим уровень звукового давления

$$L = 20 \lg \frac{P_3}{P_0}. \qquad (8.5)$$

В последнее время для характеристики шума более предпочтителен термин „уровень звукового давления".

Еще одна особенность восприятия звуков органами слуха – его зависимость от частоты колебаний. В воздухе, являющемся основной средой для передачи звуковых колебаний к органам слуха, частота колебаний изменяется до нескольких сотен тысяч герц.

В зависимости от восприятия звуков органами слуха этот диапазон делится на три области (рис. 8.2).

Первая область с частотами колебаний 10–20 Гц называется *областью инфразвуков*. Эти колебания органами слуха человека не воспринимаются.

Вторая область с частотами колебаний 16–20·(16 ÷ 20)·10 Гц называется *областью слышимых звуков*.

Третья область с частотами колебаний более 16 000 – 20 000 Гц называется *областью ультразвуков*. Эти колебания также органами слуха не воспринимаются.

Характеристики шума: звуковая энергия, звуковое давление, сила звука, уровень силы звука, частота – называются объективными характеристиками шума. Однако они не учитывают силу восприятия шума человеком и поэтому не дают правильного представления о его субъективном ощущении.

Для субъективной оценки звуков с различными частотами введено понятие „громкость звуков". *Громкость* – это сила восприятия звуков органами слуха человека, т. е. субъективная характеристика шума. За единицу громкости принята условная величина, т. е. громкость звука с частотой 1000 Гц на пороге слышимости.

Аналогично уровню силы шума вводится понятие „уровень громкости шума". Единицей измерения уровня громкости шума B является фон. Сравнивая громкости звуков на различных частотах, можно построить кривые равной громкости (рис. 8.3).

Рис. 8.2. Область слухового восприятия

1 — порог слышимости; *2* — порог болевого ощущения

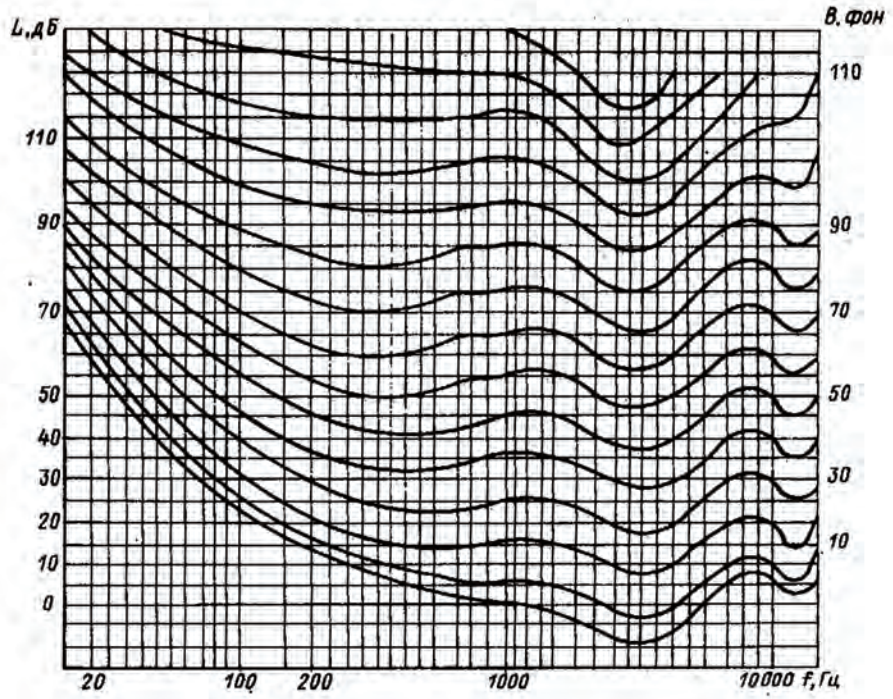

Рис. 8.3. Кривые равной громкости звуков

§ 8.2. ВЛИЯНИЕ ШУМА И ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Непосредственный контакт с вибрирующими частями оборудования и хорошая проводимость механических колебаний тканями организма человека приводят к распространению вибрации по всему организму человека. При этом отдельные органы можно рассматривать как самостоятельные колебательные системы. Действительно, голова человека имеет массу и упругий элемент – шею. Следовательно, она представляет собой колебательную систему. Аналогично можно рассматривать и другие органы: сердце, руки, ноги и т. д. При этом каждый орган имеет свои массу и упругий элемент, а поэтому и свою частоту свободных колебаний, зависящую также от положения организма в пространстве. Так, свободная частота колебаний головы при положени человека стоя 4–5 Гц, сидя 20–30 Гц, лежа 300–400 Гц.

Большое значение имеет место контакта организма с вибрирующей поверхностью. Если человек стоит на вибрирующей поверхности, например на полу, то вибрация распространяется по всему организму. Такая вибрация называется *общей*. При общей вибрации все органы человека находятся в колебательном состоянии, поэтому исключить резонансные колебания отдельных органов очень трудно, в этом основная причина большой опасности общей вибрации.

Вибрация организму может передаваться через руки, например, при работе ручным инструментом. В этом случае, изменяя пространственное положение рук или их физическую напряженность, можно изменять как интенсивность передачи колебаний организму, так и частоту их свободных колебаний и таким образом исключить распространение резонансных колебаний. Такая вибрация называется *местной*, она менее опасна, чем общая.

Периодическое кратковременное воздействие вибрации на организм человека нарушает нормальную работу сердечно-сосудистой, нервной и других систем, а также работу слухового аппарата и зрительного. Это приводит к снижению активности защитных систем организма, нарушению их работы, повышению утомляемости и в итоге к снижению работоспособности человека. Учитывая это, вибрацию можно также считать причиной несчастных случаев и аварий.

Систематическое воздействие вибрации в течение длительного времени (10–15 лет) на организм человека приводит к профессиональному заболеванию – виброболезни.

Инфразвуки органы слуха не воспринимают. Их влияние на организм человека изучено еще не достаточно. Считается, что инфразвуки с уровнем звукового давления до 130 дБ на человека практически не влияют. Однако они способствуют повышению опасности звуков области слышимого диапазона, т. е. опасность звуков слышимого диапазона при совместном их действии с инфразвуками несколько увеличивается.

При уровнях звукового давления инфразвуков 140 дБ даже при их периодическом воздействии увеличивается порог слышимости

воспринимаемых звуков на 15–20 дБ. Человек теряет пространственную ориентацию, появляются чувство неуверенности, страха, усталости, слабости, головные боли, головокружения, нарушается работа анализаторов (зрительного и слухового) и т. д., могут произойти не только несчастные случаи, но аварии и катастрофы.

Аналогично вибрации воздействует на человека шум. При уровнях шума 85–90 дБ даже при кратковременном его воздействии у человека появляются описанные выше болезненные симптомы. Систематическое воздействие шума приводит к профессиональной глухоте – невриту слухового нерва. Опасность шума резко увеличивается с повышением частоты звуков, а также при совместном воздействии шума и вибрации. Так, шум молота большой интенсивности (115–120 дБ) переносится намного легче, чем высокочастотный шум вентилятора.

Ультразвуки также приводят к нарушениям работы нервной, сердечно-сосудистой и других систем организма человека.

§ 8.3. НОРМИРОВАНИЕ ИНФРА- И УЛЬТРАЗВУКОВ, ШУМА И ВИБРАЦИИ

Опасное воздействие вибрации, шума, ультра- и инфразвуков на организм человека с повышением частоты увеличивается. Поэтому при нормировании все эти колебания делятся на октавы.

Октава – это область звуков, в которой верхняя частота в два раза больше нижней. Октава характеризуется среднегеометрической частотой, которую определяют по формуле $f_{ср} = \sqrt{f_н f_в}$, где $f_н$, $f_в$ – нижняя и верхняя частоты октавы. Так как $f_в = 2f_н$, то $f_{ср} \approx 1{,}44 f_н$.

Нормируемыми параметрами вибрации являются среднеквадратичные значения виброскорости и виброускорения, а также их логарифмические уровни в октавных и третьоктавных полосах, корректированные и эквивалентно корректированные значения виброскорости и виброускорения.

Предельные значения общей вибрации, установленные „Санитарными нормами вибрации рабочих мест" (СН 3044–88) зависят от места расположения источника ее образования. Различают транспортную, транспортно-технологическую и технологическую вибрацию.

Технологическая вибрация в зависимости от места расположения источника ее образования может возникать: на постоянных рабочих местах производственных помещений; на любых рабочих местах производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию; на рабочих местах в помещениях для работников умственного труда.

При нормировании транспортной общей вибрации учитывают направление ее действия на оператора вдоль осей ортогональной проекции системы координат, связанной с положением в пространстве тела и рук рабочего. Принято, что Z – вертикальная ось, X, Y – горизонтальные оси. Допустимые уровни виброскорости общей вибрации приведены в табл. 8.1.

Предельные величины локальной вибрации устанавливаются „Санитарными нормами и правилами при работе с машинами и оборудованием, создающим локальную вибрацию, передающуюся на руки работающих" (СНиП 3041–84). Допустимые величины локальной вибрации приведены в табл. 8.2.

При нормировании шума используют два метода: первый – нормирование уровня звукового давления, дБА; второй – нормирование по предельным спектрам.

Первый метод – приближенный. Он заключается в том, что объективным шумомером замеряется общий уровень звукового давления по корректированной шкале А. Метод применяется для грубых оценок шума.

Таблица 8.1. **Допустимые значения уровней виброскорости общей вибрации, дБ**

Вибрация	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Транспортная для осей:						
Z	132	123	114	108	107	107
X, *Y*	122	117	116	116	116	116
Транспортно-технологическая	117	108	102	101	101	101
Технологическая на рабочих местах:						
постоянных в производственных помещениях	108	99	93	92	92	92
любых, где нет машин, генерирующих вибрацию	100	91	85	84	84	84
для работников умственного труда	91	82	76	75	75	75

Таблица 8.2. **Допустимые величины локальной вибрации**

Параметр	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц							
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Виброскорость, м/с	2,8	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Уровень виброскорости, дБ	115	109	109	109	109	109	109	109

Второй метод – основной. При его разработке учтены рекомендации технического комитета 43 Международной организации по стандартизации (ИСО) (рис. 8.4).

Совокупность допустимых уровней звукового давления в октавных полосах называется *предельными спектрами* (ПС). Каждый ПС имеет номер, который соответствует уровню звукового давления на частоте 1000 Гц.

В 1985 г. утверждены новые нормы уровней шума на рабочих местах с учетом трудовой деятельности человека для девяти октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 2000, 4000 и 8000 Гц. В эти нормы впервые включен уровень звукового давления для октавной полосы с частотой 31,5 Гц (табл. 8.3).

В табл. 8.3 в первом столбце приняты следующие обозначения: 1 – творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность: рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах; 2 – высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории: рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, лабораториях; 3 – работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, работа, требующая постоянного слухового контроля, операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа: рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах; 4 – работа, требующая сосредоточенности, работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами: рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону; в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин; 5 – выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пунктах 1–4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.

В указанные ПС вносятся поправки, зависящие от характера шума, длительности воздействия, времени суток, места расположения предприятия.

По характеру шумы делятся на широкополосные и тональные. Широкополосным называется шум с непрерывным спектром более одной октавы, тональным – шум, в спектре которого имеются полосы шириной не более 1/3 октавы, где уровни звукового давления отличаются не менее чем на 10 дБ.

Таблица 8.3. **Допустимые уровни звукового давления, уровни звука на рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий**

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука (эквивалентные уровни звука), дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3	96	83	74	68	63	60	57	55	54	63
4	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

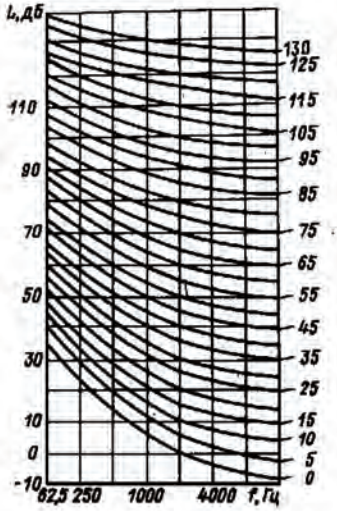

Рис. 8.4. Кривые для оценки уровней звукового давления

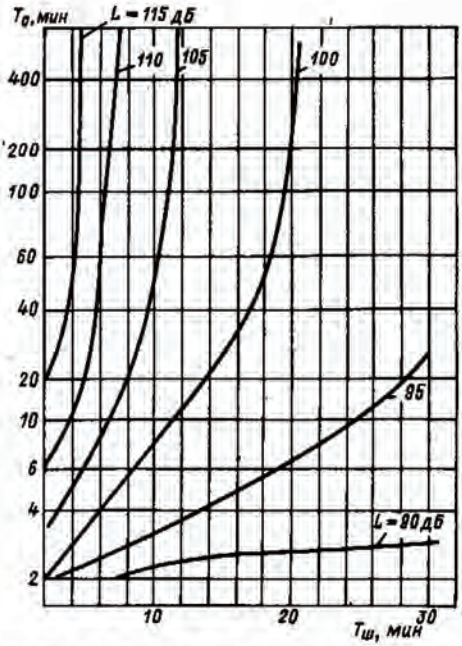

Рис. 8.5. Кривые для оценки продолжительности воздействия шума

T_o — продолжительность отдыха, мин; $T_ш$ — продолжительность воздействия шума на человека

По времени действия шум делится на постоянный и непостоянный. Постоянный – это шум, у которого уровни звукового давления в течение рабочего дня изменяются не более чем на 5 дБА.

Характерной особенностью воздействия шума является накопление в организме человека звуковой энергии во времени. Для исключения остаточных болезненных изменений в организме процесс накопления этой энергии не должен превышать некоторого допустимого уровня. При гигиеническом нормировании ПС разработаны для условий воздействия шума более 4 ч в течение рабочего дня. Следовательно, если время воздействия шума будет менее 4 ч, то допустимый уровень звукового давления может быть больше.

Если техническими мерами снизить уровень звукового давления до ПС невозможно, рекомендуется использовать защиту „временем", т. е. изменить режим рабочего дня. В этом случае продолжительность рабочего времени сокращается, а количество периодов отдыха и их время увеличиваются (рис. 8.5).

Ультразвук нормируется в третьоктавных полосах. Предельные значения уровней звукового давления (ГОСТ 12.1.001–83) равны: 80 дБ при $f_{ср}$ = 12 500 Гц; 90 дБ при $f_{ср}$ = 16 000 Гц; 100 дБ при $f_{ср}$ = 20 000 Гц; 105 дБ при $f_{ср}$ = 25 000 Гц; 110 дБ при $f_{ср}$ = 31 500 ÷ 100 000 Гц.

Для инфразвуков предельные значения звукового давления устанавливаются „Гигиеническими нормами инфразвуков на рабочих местах" (№ 2274–80) в зависимости от его изменения во времени. С учетом этого различают постоянный и непостоянный инфразвук.

Постоянный – это инфразвук, величина звукового давления которого в течение 1 мин изменяется не более чем на 10 дБ. Он нормируется в октавных полосах. Для первых четырех октав ($f_{ср}$ = 2; 4; 8; 16 Гц) предельное звуковое давление 105 дБ, для пятой ($f_{ср}$ = 31,5 Гц) – 102 дБ.

Непостоянный – это инфразвук, величина звукового давления которого в течение 1 мин изменяется более чем на 10 дБ. Для непостоянного инфразвука устанавливается одинаковое звуковое давление, измеряемое по шкале „линейная", равное 102 дБ.

§ 8.4. ИСТОЧНИКИ ВИБРАЦИИ, ШУМА, ИНФРА- И УЛЬТРАЗВУКОВ

Возникающие в реальных условиях шумы можно разделить на естественные и искусственные.

Источниками естественных шумов могут быть многие явления природы: ветер, движение волн, извержение вулканов и т. д. Как правило, эти шумы имеют низкие частоты, которые создают для человека естественный фон, являющийся средой его обитания. Однако в отдельных случаях эти шумы могут достигать больших уровней звукового давления, которые вызывают болезненные ощущения, например сильный ветер, большое волнение моря, грозовые разряды и т. д.

Источник искусственных шумов – работа машин, механизмов, оборудования. Частота и уровень звукового давления искусственных

шумов изменяются в больших пределах и нередко значительно превышают уровень болевого ощущения. Так, шум современных мощных судовых двигателей нередко доходит до 115–117 дБ, реактивных двигателей – до 170–180 дБ и т. д.

Машины, механизмы, оборудование состоят из отдельных деталей. У каждой детали есть масса и она обладает упругостью, следовательно, деталь можно рассматривать как простейшую колебательную систему. При работе машин возникают инерционные и другие силы, воздействующие на детали, которые совершают вынужденные колебания. Частота и интенсивность этих колебаний зависят от массы деталей, упругости материала, из которого они изготовлены, а также частоты воздействия сил.

При установившемся режиме работы машин отдельные детали совершают колебания заданных частоты и интенсивности, т. е. создают звуки. При большом количестве деталей в машине частоты создаваемых ими звуков изменяются в больших пределах и охватывают все три диапазона колебания: инфра-, ультразвуков и область слышимых звуков.

Графическое представление уровней звукового давления на разных частотах называется *спектрограммой* (для вибрации – *виброграммой*). В зависимости от количества источников звуков в машине спектрограммы могут быть прерывистыми или сплошными.

Рассмотрим спектрограмму одного из самых простых видов оборудования – одноступенчатого редуктора. Основным источником звука в редукторе будет соударение зубьев. Так как частота вращения зубчатых колес редуктора постоянна, то и число соударений зубьев будет тоже постоянной величиной, т. е. в результате соударений зубьев возникает звук с постоянной частотой, предположим $f_1 = 4000$ Гц.

Соударения возникнут и при биении валов в подшипниках. Частота вращения валов различна, поэтому и частота звуков, создаваемых биением валов, так же будет разной, предположим $f_2 = 125$ Гц и $f_3 = 500$ Гц. Если пренебречь другими источниками звуков, то с учетом вторичных, третичных и т. д. колебаний на спектрограмме будут

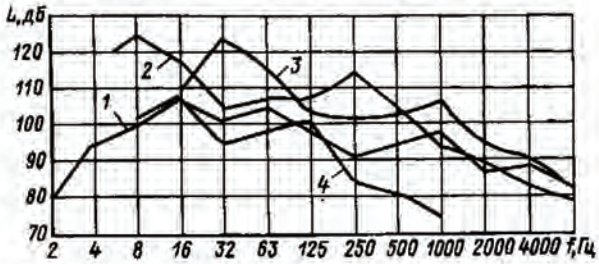

Рис. 8.6. Спектрограмма шума

1 – шеститонного пресса; *2* – турбины типа СПГТ; *3* – виброплощадки типа ВВП; *4* – компрессора типа ВП 20/10

заняты три участка, соответствующие частотам 125, 500, 4000 Гц. На остальных участках спектрограммы звуков нет, и спектрограмма будет прерывистой.

Рассмотрим двух- и трехступенчатый редуктор. Количество источников звуков будет все время увеличиваться и в каком-то n-ступенчатом редукторе звуки появятся на всех участках спектрограммы. Спектрограмма будет сплошной.

В реальных механизмах, машинах и оборудовании можно выделить не менее 15–20, а нередко и сотни отдельных источников колебаний. Поэтому спектрограммы шумов, создаваемых оборудованием, всегда сплошные (рис. 8.6, 8.7).

В зависимости от механизма образования колебаний их источники делятся на механические, аэродинамические и электромагнитные.

Механические – это источники, при которых колебания образуются в результате механических соударений отдельных элементов оборудования (соударения зубьев в редукторе, валов в подшипниках, отдельных элементов оборудования при поступательно-возвратном движении и т. д.).

Аэродинамические – это такие источники, при которых колебания образуются в воздушном потоке в результате интенсивного вихреобразования при резком изменении его структуры (изменение площади поперечного сечения потока, его поворота, деления и слияния нескольких потоков и т. д.), например при выходе воздуха из вентилятора, газов из двигателя внутреннего сгорания и т. д.

Частота звуков, создаваемых лопастями рабочего колеса вентиляторов, $f_л = n_р z_л/60$, где $n_р$ – частота вращения рабочего колеса, об/мин; $z_л$ – число лопастей в рабочем колесе.

Электромагнитные – это источники, в которых колебания возникают в результате изменения электромагнитных полей.

Шум от оборудования распространяется во все стороны. Область пространства, в которой распространяется шум, называется *звуковым полем*. Вокруг оборудования оно неравномерно.

На рис. 8.8 приведено распределение уровней звукового давления, создаваемого двигателем БМЗ 7 ДКРН 74/160 при $n = 115$ об/мин, на расстоянии 0,5 м. Анализ рисунка показывает, что шум, создаваемый корпусом двигателя, распределяется практически равномерно.

Равномерность звукового поля характеризуется коэффициентом направленности звукового поля $k_п = I_э / I_{ср}$, где $I_э$ – сила звука в заданном направлении; $I_{ср}$ – средняя сила звука, $I_{ср} = W/S$, здесь W – полная акустическая мощность оборудования; S – поверхность, по которой распределяется шумовая энергия.

В зависимости от путей распространения различают воздушный и структурный шум. Воздушный – это шум, распространяющийся в воздушной среде. Структурный – это шум, распространяющийся по отдельным конструкциям машин, оборудования, здания. Например, шум проникает во все судовые помещения, так как свободно, без существенных потерь распространяется по металлическому корпусу судна.

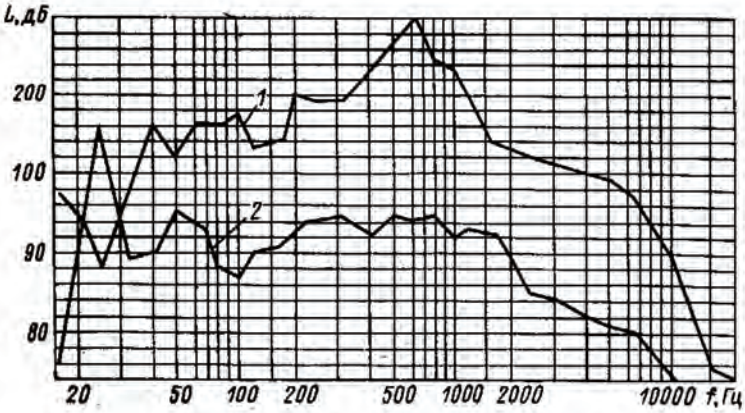

Рис. 8.7. Спектрограмма шума дизелей
1 – 37Д; *2* – „Ланг"

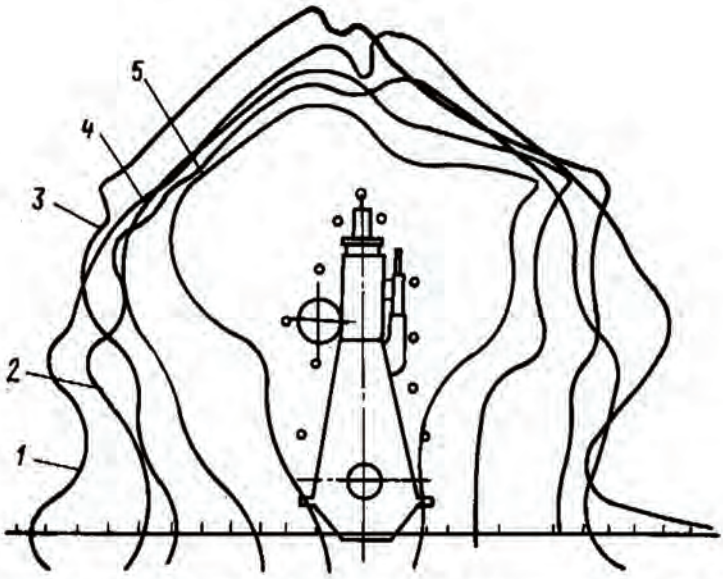

Рис. 8.8. Распределение уровней звукового давления вокруг двигателя БМЗ 7ДКРН 74/160 при $n = 115$ об/мин на расстоянии 0,5 м
1 – $f_1 = 31{,}5$ Гц; *2* – $f_2 = 200$ Гц; *3* – $f_3 = 840$ Гц; *4* – $f_4 = 2500$ Гц; *5* – $f_5 = 5000$ Гц

§8.5. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ

Шумовые характеристики оборудования можно определить следующим образом:

– в свободном звуковом поле, т. е. при отсутствии отраженных звуков, это достигается в помещениях с большими габаритами, на открытом воздухе или в специальных заглушенных камерах (все внутренние поверхности камеры в этом случае облицовываются шумопоглощающим материалом, желательно элементами клинообразной формы);

– в отраженном звуковом поле, т. е. при максимальном отражении звуков стенками камеры, это позволяет получить в камере равномерное звуковое поле;

– сравнением исследуемого источника шума с образцовым источником шума; в таких случаях к камере не предъявляется никаких особых требований, в ней поочередно устанавливают эталонный и исследуемый источники шума;

– на расстоянии 1 м от оборудования.

Для замеров величин характеристик шума применяют субъективные и объективные шумомеры.

Субъективный шумомер – это прибор, в котором установлен эталоный источник звука с изменяемыми частотой и громкостью. Оператор на слух сравнивает звуки эталонного источника с исследуемым. Достоинство этих приборов – возможность определения уровня громкости, недостаток – зависимость результатов замеров от слухового аппарата оператора, т. е. субъективность замеров. Даже два оператора, работая одним и тем же прибором на одном и том же источнике шума, в таких случаях получают разные результаты. Это не позволяет применять субъективные шумомеры для контроля уровня шума.

В объективном шумомере звуковое давление воспринимается микрофоном, где оно преобразуется в электрический ток, по силе которого определяют уровень звукового давления. Недостаток этих приборов – невозможность обеспечения тождества характеристик прибора и слухового аппарата человека. Этот недостаток в какой-то степени устраняется при помощи корректирующих характеристик.

Для полного тождества характеристик шумомера и слухового аппарата человека необходимо иметь большое количество корректирующих характеристик, отражающих все кривые равной громкости, что вызвало бы значительное усложнение прибора.

Шумомеры дают общий уровень звукового давления на всех частотах. Для спектрального анализа применяются анализаторы спектра, представляющие собой набор конденсаторов, которые задерживают или пропускают какой-то диапазон частот.

В зависимости от назначения анализаторы спектра делятся на октавные, полуоктавные, третьоктавные и узкополосные.

Октавные анализаторы позволяют определить средний уровень шума в октавных полосах. Так как шум нормируется в октавных полосах, то октавные анализаторы применяют для санитарного контроля.

При разработке мер по снижению шума необходимо знать уровни звукового давления, создаваемого отдельными источниками звуков. В пределах одной октавы таких источников звуков может находиться несколько, нередко – несколько десятков. Для их выявления приме-

няют полуоктавные анализаторы, т. е. октава делится на две части, третьоктавные анализаторы – октава делится на три части. В настоящее время выпускаются анализаторы спектра и с более узкими полосами.

§ 8.6. УРОВНИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЕМ

Распределение уровней звукового давления, создаваемого оборудованием, рассмотрим на примере электродвигателя, показанного на рис. 8.9. Он состоит из корпуса *2*, статора *5*, ротора *4*, вращающегося в подшипниках *3*, вентилятора *1*. Создаваемый этими элементами двигателя шум делится на механический, аэродинамический и электромагнитный.

Источником механического шума являются колебания ротора в результате дисбаланса из-за смещения его оси по отношению к оси вращения. Дисбаланс может возникнуть и в результате смещения оси ротора по отношению к действительной оси его вращения. Дисбаланс легко обнаружить, прекратив вращение ротора: более тяжелая его часть займет нижнее положение. Полностью устранить дисбаланс ротора при современном уровне развития техники практически невозможно.

Частота звуков, возникающих при дисбалансе ротора, определяется по формуле $f_д = n_д/60$, где $n_д$ – частота вращения ротора, об/мин.

Значительный механический шум может создаваться и при вращении ротора в подшипниках. Интенсивность шума будет возрастать при неправильном подборе подшипников и их неисправности.

Электромагнитный шум создается в результате образования переменных электромагнитных полей между статором и ротором. Между полюсами статора и ротора возникают силы магнитного притяжения (рис. 8.10), пропорциональные квадрату мгновенного значения индукции магнитного поля.

Так как интенсивность поля зависит от величины зазора между ротором и статором, который все время изменяется, то на статор воздействует переменная сила, вызывающая его вибрацию. В результате возникают звуки частотой $f_э = n_д zi$, где z – число пазов в роторе; $i = 1, 2, 3, ...$

Аэродинамический шум возникает в результате мгновенного изменения давления воздуха на лопатках колеса вентилятора и движения воздуха в зазорах ротора и статора.

На рис. 8.11 приведена спектрограмма шума электродвигателя мощностью 1 кВт при $n_д = 3000$ об/мин. Анализ спектрограммы показывает, что в спектре выделяются три основных источника звука. Первый источник – на частоте 50 гц, это – шум, создаваемый дисбалансом ротора. Второй источник – на частоте 570 Гц, это – шум, создаваемый вентилятором. Третий источник – на частоте 3000–4000 Гц, это – шум, создаваемый подшипниками качения.

На рис. 8.12 приведена спектрограмма шума электродвигателя мощностью 15,1 кВ при $n = 3000$ об/мин. На этой спектрограмме также видны рассмотренные на рис. 8.11 три основные источника звуков.

Применение систем вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет удалять вредные вещества из помещения, поступающие в его воздушную среду. В то же время эти системы являются источником образования не менее опасных вредных производственных факторов – шума и вибрации. Это не только ухудшает условия труда и отдыха, но, если не принять необходимых мер по их снижению, может привести к тяжелым последствиям: профессиональным заболеваниям

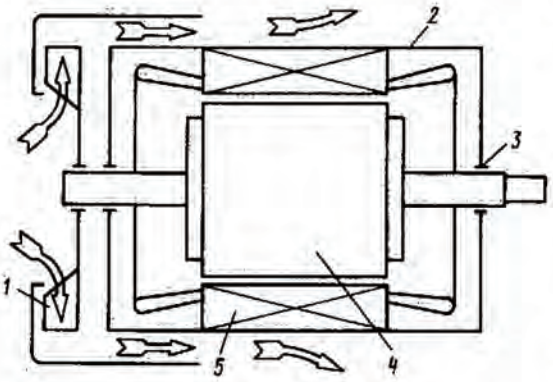

Рис. 8.9. Конструктивная схема электродвигателя

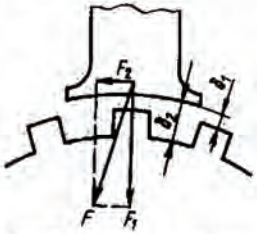

Рис. 8.10. Схема возмущающих сил в электродвигателе постоянного тока

и авариям. Особенно актуален вопрос борьбы с шумом этих систем на судах, характерными особенностями которых являются множество металлических конструкций, насыщенность помещений механизмами и оборудованием, ограниченность использования шумозащитных средств.

В общем случае система кондиционирования воздуха (рис. 8.13) состоит из воздухозаборного устройства *4*, вентилятора *5*, регулирующей аппаратуры *7*, термо- и влагообрабатывающих устройств *6* и *8*, глушителей шума *1*, воздуховодов *2* и воздухораспределительных устройств *3*. В отдельных системах тот или другой элемент может отсутствовать. Система вентиляции отличается от системы кондициони-

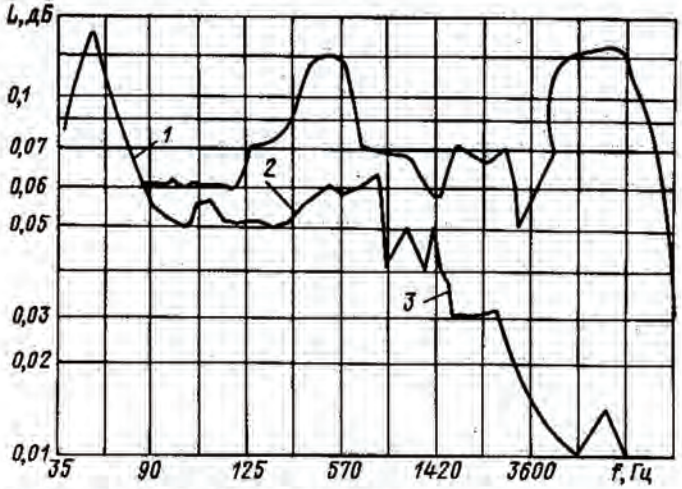

Рис. 8.11. Спектрограммы шума асинхронного электродвигателя мощностью 1 кВт при $n_д = 3000$ об/мин

1 — исходный двигатель; *2* — вентилятор снят; *3* — подшипники качения заменены на подшипники скольжения

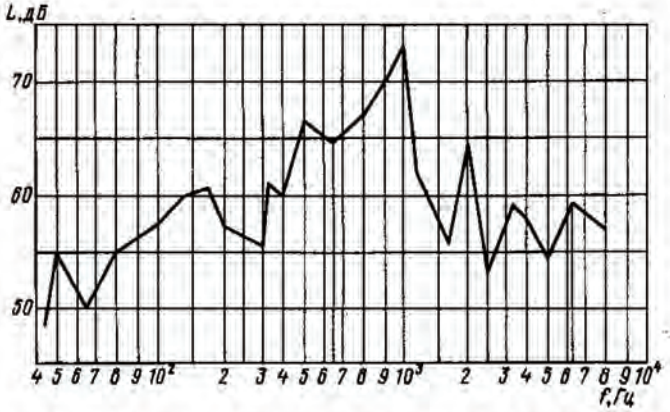

Рис. 8.12. Спектрограмма шума электродвигателя мощностью 15,1 кВт при $n = 3000$ об/мин

рования воздуха только отсутствием отдельных элементов для тепловлажностной обработки воздуха.

Более жесткие требования к массе и габаритам отдельных элементов судовых систем кондиционирования воздуха привели к разработке двухканальных высокоскоростных систем. Основным источником шума в рассматриваемых системах является вентилятор, при работе которого образуется аэродинамический и механический шум.

Аэродинамический шум образуется при обтекании воздушным потоком лопаток рабочего колеса. Частота создаваемых этим источником звуков зависит от частоты вращения рабочего колеса и определяется по формуле $f_л = n_к z/60$, где $n_к$ – число оборотов рабочего колеса, об/мин; z – число лопаток в рабочем колесе. Уровень звукового

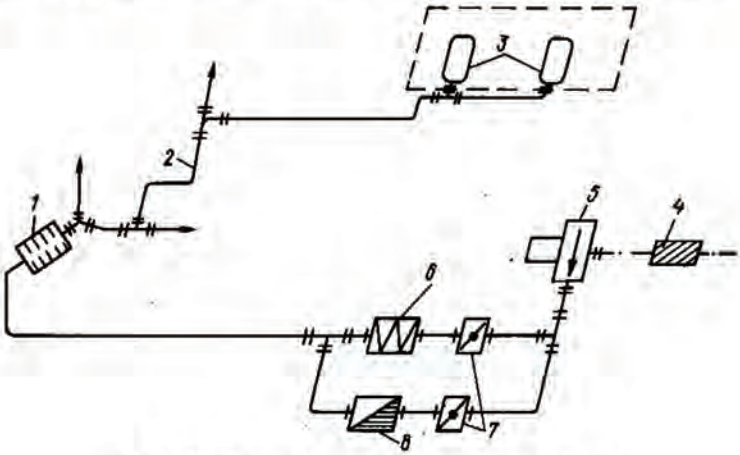

Рис. 8.13. Система кондиционирования воздуха

давления на частоте $f_л$ на 5–15 дБ превышает уровень звукового давления на других частотах. Аэродинамический шум образуется также при входе и выходе воздуха из вентилятора, движении воздуха в воздуховодах и т. д.

Механический шум образуется в основном в результате вибрации корпуса вентилятора. Шум, создаваемый вентилятором при движении воздуха в воздуховодах, по их стенкам и воздушному потоку также проникает во все помещения.

Уровни шума, создаваемого вентиляторами типа ЦС, приведены в табл. 8.4. Уровень шума, образующегося со стороны всасывания и нагнетания таких вентиляторов,

$$L_в = L_0 + \mu \lg \frac{QH}{30\,000},$$

где Q – производительность вентилятора, м³/ч; H – полное давление, Па; L_0, μ – величины, значения которых приведены ниже:

f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_0	56	56	58	59	59	56	51	43
μ	10	12,5	13	14	14	14,5	15	15,5

Уровень шума промышленных вентиляторов

$$L_в = L_1 + 2{,}5 \lg H + 10 \lg Q + \delta,$$

где L_1 – критерий шумности, для вентиляторов типов Ц9-55, Ц9-57, Ц12-90 со стороны нагнетания $L_1 = 22{,}5$, со стороны всасывания $L_1 = 18{,}5$; δ – поправки на режим работы вентилятора, при отклонении не более 10 % от максимального КПД, $\delta = 0$, при отклонении на 10–20 % $\delta = 2$, при отклонении более 20 % $\delta = 4$.

Указанные величины L_1 справедливы при плавном входе потока воздуха в вентилятор. При нарушении структуры потока, например при установке дросселей, к указанным величинам L_1 следует прибавить 8 дБ для осевых вентиляторов и 7 дБ для центробежных.

Таблица 8.4. **Уровни шума вентиляторов типа ЦС**

Тип вентилятора	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
5ЦС-6	57	57	62	58	60	57	56
8ЦС-11	64	65	65	63	64	60	57
63ЦС-11	84	84	85	79	72	70	69
8ЦС-24	60	63	68	64	69	63	62
90ЦС-24	80	83	80	84	82	83	81
56ЦС-34	76	80	80	86	85	82	83
8ЦС-63	72	70	69	75	69	66	65

Общий уровень шума, создаваемого корпусом вентилятора, определяется также по приведенной выше формуле, при этом критерий шумности принимается как среднее значение для сторон всасывания и нагнетания.

Акустический расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха можно свести к определению уровня шума в помещениях, где установлены вентиляторы или кондиционеры, через которые проходят воздуховоды, а также обслуживаемых указанными системами.

В первом случае уровни шума определяются в предположении, что в помещении находятся самостоятельные источники шума: вентиляторы (кондиционеры), воздухозаборные устройства, воздуховыпускные устройства. Во втором случае при расчете необходимо учитывать прохождение шумов, создаваемых во всасывающем или нагнетательном патрубках и путевой арматуре, по воздуховодам, а также возможность их проникновения в помещение через стенки воздуховодов. В третьем случае также необходимо учитывать при расчете уровень шумов, создаваемых в нагнетательном или всасывающем патрубках и путевой арматуре, возможность их проникновения через воздухоподающие или воздухозабирающие устройства, которые являются самостоятельными источниками шума. Более подробная методика расчета уровня шума в помещениях приводится в специальной литературе [19].

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) создают аэродинамический и механический шум (см. рис. 8.7).

Аэродинамический шум возникает при входе воздуха и выходе отработанных газов из двигателя. Снизить этот шум возможно при помощи высокоэффективных глушителей шума и других мер. Например, на теплоходе „Котовск" воздух для двигателя забирается с открытой палубы через облицованные изнутри шумопоглощающим материалом трубопроводы. Это позволило снизить шум, создаваемый при заборе воздуха, до нормы.

Двигатели внутреннего сгорания, как и другие виды оборудования, совершенствуются. При этом, однако, не всегда учитывается необходимость снижения шума. Так, для увеличения мощности и повышения эффективности ДВС вместо забора воздуха в результате разрежения в цилиндрах, создаваемого при движении поршня, применяют наддув высокооборотными турбонагнетателями, которые являются источником образования высокочастотного шума (рис. 8.14). Мощным источником шума служит и весь нагнетательный тракт: ресивер, холодильник, соединительные трубопроводы. Снижение этого шума является сложной проблемой.

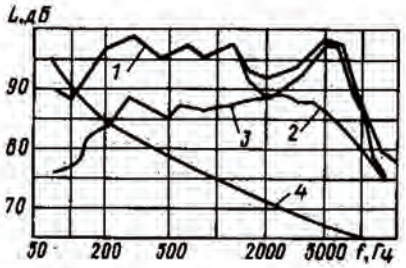

Рис. 8.14. Спектрограммы шума

1 — дизеля при работе с турбонагревателем; *2* — дизеля при наддуве от постоянного источника; *3* — турбонагнетателя; *4* — ПС

Механический шум создается в результате сгорания топлива и возникновения ударных усилий, а также колебаний деталей шатунно-кривошипного механизма, вращения валов в подшипниках, корпуса двигателя и т. д.

§ 8.7. МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА; ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

Основным методом борьбы с шумом является его снижение в источнике образования. Реализация этого метода возможна путем совершенствования конструкции машин и технологических процессов, для чего необходимо:

– заменить ударные процессы безударными (кузнечные и штамповочные молоты можно заменить прессами, правку листов – вальцеванием, пневматическую клепку – гидравлической клепкой или электросваркой и т. п.); если исключить удар не удается, надо ослабить звучание ударных частей (уменьшением размаха колебаний, уменьшением поверхности соударяемых частей, заменой металла в сочленяющих узлах менее звучащими материалами или заменой одной из соударяющихся металлических деталей неметаллической);

– устранить консольное (одностороннее) расположение колес, шестерен, турбин, валов и других вращающихся частей и придать им вторую опору;

– заменить подшипники качения подшипниками скольжения;

– заменить возвратно-поступательное движение вращательным (при возвратно-поступательном движении трудно достигнуть хорошей уравновешенности деталей, а резкие изменения направления движения вызывают интенсивную вибрацию движущихся частей и сильный шум);

– уменьшить допуск между сочленяющимися деталями агрегата для снижения биения деталей;

– уменьшить интенсивность вибрации больших поверхностей (кожухов, крышек, корпуса агрегата и др.) путем заполнения специальных воздушных полостей в них материалами, демпфирующими вибрацию, или звукопоглощающими материалами, а также установления между вибрирующими узлом агрегата и поверхностью прокладок или пружин, которым может быть передана эта вибрация.

Создать безшумное оборудование пока невозможно. Поэтому правилами эксплуатации для серийно выпускаемого оборудования устанавливаются допустимые уровни звукового давления. Так, ГОСТ 12.2.107–85 устанавливает эти уровни для металлорежущих станков (табл. 8.5), ГОСТ 12.1.035–81 – для сварочного оборудования и т. д.

Если звуковая энергия падает на границу разделения двух сред $I_п$, то часть ее $I_{отр}$ отражается от этой границы, а другая часть $I_{пог}$ проходит через нее (рис. 8.15), т. е. как бы поглощается второй

Таблица 8.5. **Допустимые уровни звукового давления, создаваемого оборудованием**

Суммарная мощность электродвигателей, кВт	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Металлорежущие станки							
< 2	72	72	72	72	69	67	65	64
2–4	75	75	75	75	72	70	68	67
4–125	78	78	78	78	75	73	71	70
12,5–32	80	80	80	80	77	75	73	71
32–64	85	85	85	82	79	77	75	73
> 64	86	86	86	83	80	79	74	74
	Сварочное оборудование							
–	99	92	–	86	83	80	78	76

средой. Так как $I_п = I_{отр} + I_{пог}$, то после деления этого выражения на $I_п$ получим

$$1 = I_{отр}/I_п + I_{пог}/I_п. \qquad (8.6)$$

Первое слагаемое в формуле (8.6) характеризует количество отраженной звуковой энергии и называется *коэффициентом отражения* $\alpha_{отр}$, второе – количество энергии, прошедшей через границу разделения двух сред, т. е. как бы поглощенной второй средой, и поэтому называется *коэффициентом звукопоглощения* $\alpha_{пог}$.

Механизм звукопоглощения зависит от структуры звукопоглощающего материала. На рис. 8.16 приведена зависимость коэффициента звукопоглощения от частоты звуков для трех типов различных материалов.

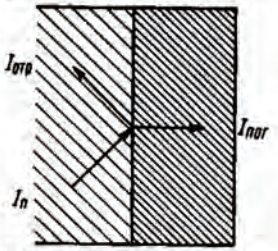

Рис. 8.15. Схема к определению понятий звукопоглощения и звукоотражения

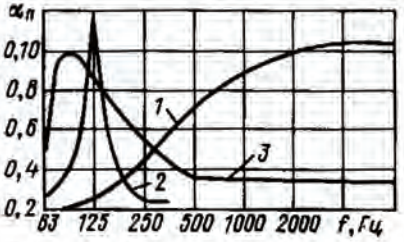

Рис. 8.16. Зависимость коэффициента звукопоглощения от частоты звуков для различных материалов

Первый тип поглотителей *1* на рис. 8.16 (стекловолокно, вата, пенопласт и др.) характеризуется большой пористостью. В этом случае звуковая энергия рассеивается и преобразуется в тепловую в порах. Поглощение звуковой энергии происходит по всему диапазону частот. Однако из-за более интенсивного преобразования звуковой энергии в тепловую на высоких частотах коэффициенты звукопоглощения с повышением частоты звуков увеличиваются (табл. 8.6).

Ко второму типу относятся объемные или резонансные поглотители *2*. Основой их работы является использование резонансной системы с большой интенсивностью преобразования звуковой энергии в тепловую только в области резонансных частот. В этом случае величина коэффициента звукопоглощения будет значительной только в узком диапазоне частот (табл. 8.7).

К третьему типу *3* относятся так называемые мембранные, или панельные поглотители. В этих поглотителях звуковая энергия попадает на поверхность и приводит ее в движение, т. е. сначала преобразуется в механическую энергию, а затем в тепловую. Эти поглотители высокоэффективны только на резонансных частотах.

При выборе толщины звукопоглощающей конструкции поглотителей первого типа необходимо учитывать, что существует предельная толщина материалов, превышение которой не целесообразно, так как это не приведет к заметному поглощению шумовой энергии (предельная толщина хлопка и ваты 40–80 см, рыхленого шерстяного войлока 18 см, минеральной ваты 9 см).

Звукопоглощающие материалы и конструкции предназначены для поглощения звуковой энергии. Это позволяет снизить уровень

Таблица 8.6. **Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций**

Конструкция, материал	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц					
	128	256	512	1024	2048	4096
Окно, дверь, отверстия (открытые)	1	1	1	1	1	1
Стена кирпичная неоштукатуренная	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,07
Стена оштукатуренная	0,012	0,013	0,017	0,02	0,023	0,025
Бархатная драпировка	0,04	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35
Войлок толщиной 5 см	0,21	0,46	0,79	0,75	0,58	0,46
Бетон и железобетон, неокрашенный	0,011	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035
Стекло	0,035	–	0,027	–	0,02	–

Таблица 8.7. **Коэффициенты звукопоглощения перфорированных конструкций**

Конструкция, материал	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Перфорированная панель (заполнитель – асбестовая вата):							
$h = 3$ мм, $d = 4$ мм, $D = 40$ мм, $l = 50$ мм	0,27	0,43	0,36	0,25	0,15	0,13	0,11
$h = 3$ мм, $d = 6$ мм, $D = 25$ мм, $l = 100$ мм	0,52	0,54	0,54	0,50	0,41	0,33	0,33
$h = 6$ мм, $d = 4$ мм, $D = 40$ мм, $l = 50$ мм	0,32	0,42	0,31	0,18	0,13	0,10	–
Панель из фанеры толщиной 10 мм, расположенная на расстоянии 10 см от стены	0,34	0,19	0,10	0,09	0,12	0,11	0,06
Древесноволокнистая плита типа „Оргалит" толщиной 11 мм и объемной массой 200–250 кг/м^3, расположенная вплотную к стене	0,06	0,15	0,28	0,30	0,33	0,31	0,35

Примечание. h – толщина панели; d – диаметр перфорации; D – расстояние между центрами перфорации; l – толщина слоя заполнителя.

звукового движения в помещении, в котором расположен источник шума, за счет поглощения падающей на конструкции шумовой энергии, а в соседних помещениях – за счет отражения и преобразования части поглощенной энергии в тепловую в самом материале или конструкции.

Однако все материалы и конструкции, за исключением открытого окна, часть падающей на них энергии отражают. Эта энергия приводит к образованию интенсивного звукового поля во всем объеме помещения. Действительно, в первый момент после начала действия источника шума звуковая энергия поступает в любую произвольно выбранную точку в помещении по прямой линии, это так называемая прямая составляющая $I_{пр}$ (рис. 8.17). Она не зависит от границ помещения и уменьшается прямо пропорционально квадрату расстояния между источником шума и выбранной точкой.

Но звуковая энергия, падающая на любую поверхность в помещении (стены, пол и т. д.), частично отражается (I_1). Поэтому уже

после первого отражения с каким-то опозданием она также доходит до этой точки.

Затем в эту точку поступает звуковая энергия от двух- (I_2), трех- (I_3) и т. д. кратного отражения. При этом эти составляющие многократно отраженной звуковой энергии в точку поступают с разных сторон и через какие-то промежутки времени. Они создают так называемую гулкость помещения и не только увеличивают уровень звукового давления шума в помещении, но и резко ухудшают разборчивость речи. Общий уровень шума в помещении будет увеличиваться до тех пор, пока звукопоглощение всеми поверхностями не будет равным поступлению звуковой энергии.

Уровень звукового давления, создаваемого отраженной энергией в любой точке помещения, можно определить по формуле

$$L_{отр} = L_и - 10 \lg V + 10 \lg T + 14,$$

где V – объем помещения, м²; T – время увеличения шума, с.

Время увеличения шума в помещении равно времени его угасания после прекращения действия источника образования звуков. Это время можно определить экспериментально (например, замерить его после выстрела из стартового пистолета) или по формуле $T = 0{,}16\,V/(S_1 \alpha_{ср})$.

В судостроительных цехах время угасания находится в пределах 1–9 с, для судовых помещений оно равно 1–15 с. Для разборчивости речи оптимальным временным угасанием на частотах 500–1000 Гц для малых помещений можно считать 0,5 с, для больших – 0,8 – 1 с. На более низких частотах оптимальное время угасания шума T несколько возрастает.

В любой звукопоглощающей конструкции в теплоту преобразуется только часть поглощенной энергии, остальное ее количество проходит через конструкцию, образуя затем звуковые волны, амплитуды которых меньше исходных. С учетом этого конструкции можно характеризовать звукоизоляцией, т. е. разностью уровней звукового давления до конструкции L_1 и после нее L_2 (рис. 8.18), которую определяют по формуле $\Delta L_и = L_1 - L_2$.

Звукоизоляция конструкций на частотах 300–3000 Гц следующая:

– однослойная

$$\Delta L_и = 20 \lg (P_1 f) - 60; \qquad (8.7)$$

– двухслойная с воздушным промежутком

$$\Delta l_и = 13{,}5 \lg (P_1 + P_2) + 13 + \Delta_c, \qquad (8.8)$$

где P_1, P_2 – масса 1 м² первого и второго слоев; Δ_c – звукоизоляция воздушного промежутка между стенками (определяется по рис. 8.19).

При использовании формул (8.7) и (8.8) надо учитывать, что они дают лишь приближенное значение звукоизоляции. Это объясняется тем, что помимо массы на звукоизоляцию конструкции также

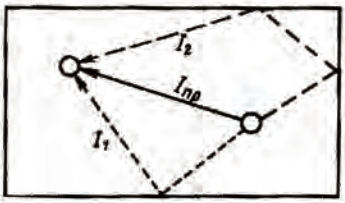

Рис. 8.17. Схема образования звукового поля

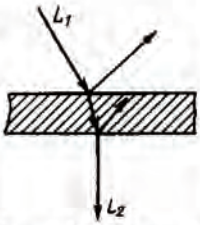

Рис. 8.18. Схема к определению понятия звукоизоляции

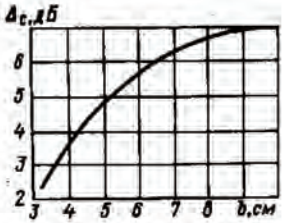

Рис. 8.19. Зависимость снижения шума от ширины воздушного промежутка

существенно влияют условия ее установки. Так, приварка ребер жесткости резко ухудшает ее звукоизоляцию (рис. 8.20). При жесткой заделке конструкции звукоизоляция уменьшается из-за увеличения передачи звуковой энергии через места заделки.

Наличие щелей между конструкцией и местом заделки, отверстий в конструкции также резко снижает ее звукоизоляцию. При этом существенное значение имеет размер отверстий и щелей. С уменьшением их размера, т. е. с увеличением отношения длины волны к размеру отверстия, потери звуковой энергии увеличиваются. Поэтому несколько десятков небольших отверстий, расположенных в разных частях конструкции, меньше снижают звукоизоляцию, чем одно большое отверстие, имеющее такую же площадь (рис. 8.21).

Таким образом, высокая эффективность звукоизоляции любой конструкции достигается плотностью ее крепления к основным несущим элементам и отсутствием металлической связи между ними.

На рис. 8.22 показан вариант крепления одностенной переборки, применяющийся на судах. Пробковые или резиновые эластичные прокладки позволяют обеспечить хорошую водонепроницаемость этих

Рис. 8.20. Зависимость величины звукоизоляции стальной стенки от частоты звуков

1 — стенка без ребер жесткости; *2* — стенка с ребрами жесткости из полособульба № 6; *3* — стенка с ребрами жесткости из полособульба № 12

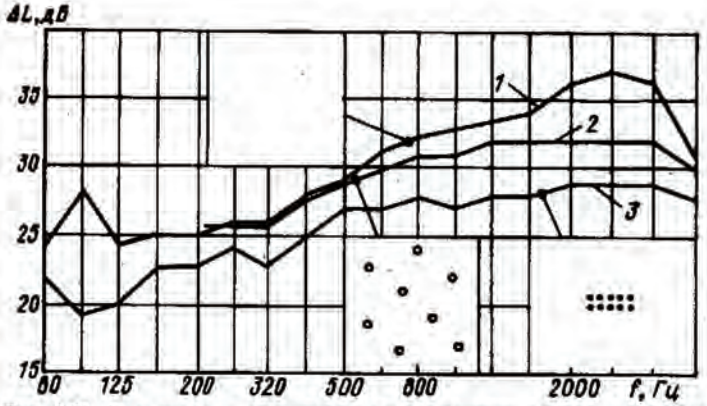

Рис. 8.21. Зависимость величины звукоизоляции от частоты звуков при разном расположении отверстий в перегородке

1 — при отсутствии отверстий; *2* — при равномерном расположении отверстий; *3* — при сосредоточенном расположении отверстий

узлов и высокую эффективность звукоизоляции. Больший интерес представляет также применение на судах так называемых „плавающих" кают (рис. 8.23).

В области разработки технических средств защиты от шума и вибрации имеются большие достижения. Однако снизить их уровни при многих технологических процессах до значений, допустимых нормативными документами, в настоящее время пока невозможно. В таких

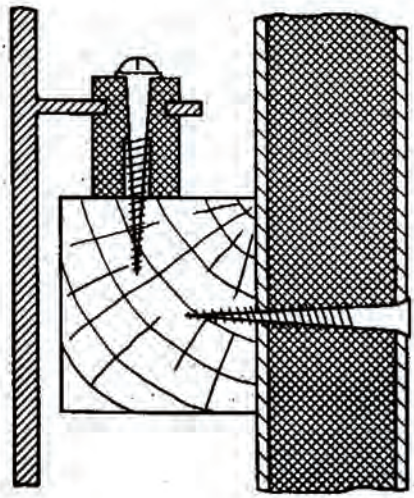

Рис. 8.22. Детали крепления одностенной переборки к несущим конструкциям

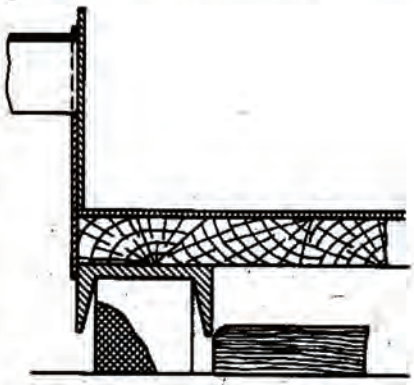

Рис. 8.23. Детали установки „плавающей" каюты

случаях необходимо менять режим рабочего времени и пользоваться индивидуальными средствами защиты. Независимо от конструкции этих средств защиты при их работе используется принцип ослабления звуковой энергии в результате ее преобразования в тепловую при прохождении через различные среды.

Индивидуальные средства защиты классифицируют в зависимости от перекрытия путей прохождения звуковой энергии к слуховому аппарату человека. Такими путями являются: слуховой проход ушной раковины, ткани ушной раковины, кости черепа, ткани организма человека. В соответствии с этим индивидуальные средства защиты включают вкладыши (втулки), полувтулки, наушники, шлемы и шумоизолирующие костюмы. В отдельную группу выделяются электронные средства защиты.

Вкладыши предназначены для перекрытия слухового прохода ушной раковины. Звукоизоляция вкладышей в первую очередь зависит от плотности их прилегания к стенкам слухового прохода. Самое простое приспособление такого типа – тампоны из ваты.

Имеется большое количество различных конструкций вкладышей. Их изготовляют из различных материалов: ультратонкого волокна ФПП-15, тонкостенной резины с звуконепроницаемым наполнителем, мелкопористой резины и т. д. Однако такие вкладыши малоэффективны и применяются при уровнях шума до 80–95 дБ.

Полувтулка позволяет перекрывать не только слуховой проход, но и частично ушную раковину, это несколько улучшает ее звукоизолирующие качества. Однако основным отличием их от вкладышей является то, что полувтулки можно использовать для крепления радиотелефонных переговорных устройств. Крепятся они при помощи специальной дуги – оголовья.

Наушники предназначены для полной изоляции ушной раковины от шума и также крепятся при помощи оголовья. Большой интерес представляет защитная каска с наушниками. Эффективность защиты таких наушников очень большая.

Шлемы позволяют изолировать слуховой аппарат человека как от воздушного шума, так и от шума, проникающего в результате проводимости костей черепа.

Шумоизолирующие костюмы применяют для полной изоляции организма человека от воздействия шума при больших уровнях звукового давления (140 дБ и более).

Электронные средства защиты при своей работе создают колебания воздушной среды с противоположной фазой по отношению к воздушным колебаниям.

§ 8.8. РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Уровень шума в помещениях рассчитывают для разработки мер, обеспечивающих его снижение до значений, допустимых санитарными нормами. Исходными величинами для расчета являются данные

заводов-изготовителей, которые приводятся в паспортах на выпускаемое оборудование.

При выводе всех расчетных зависимостей используют физическую величину, определяющую уровень шума, – силу шума. Конечный результат расчета – определение уровня звукового давления. Для этого сначала требуется найти необходимую силу звука.

Если уровни звукового давления заданы в полу- или третьоктавных полосах или в более узких полосах, то его общий уровень в октавных полосах определяется следующим образом. Суммарная величина силы шума в октавной полосе

$$I_c = I_1 + ... + I_n, \tag{8.9}$$

где $I_1, ..., I_n$ – сила шума в отдельных частях октавы.

Из зависимости (8.4) сила шума

$$I_з = I_o \cdot 10^{0,1L_з}. \tag{8.10}$$

Подставив полученное значение $I_з$ из формулы (8.10) в формулу (8.9), вынесем I_o за скобки, тогда

$$I_c = I_o(10^{0,1L_1} + ... + 10^{0,1L_n}). \tag{8.11}$$

В формуле (8.11) значения $L_1, ..., L_n$ задаются заводом-изготовителем, что позволяет определить I_c. Перейдем к уровням звукового давления, т. е.

$$10 \lg \frac{I_c}{I_o} = 10 \lg \frac{I_o(10^{0,1L_1} + ... + 10^{0,1L_n})}{I_o}. \tag{8.12}$$

В левой части формулы (8.12) получим общий уровень звукового давления в октавной полосе L_c. После сокращения правой части (8.12) на I_o получим

$$L_c = 10 \lg (10^{0,1L_1} + ... + 10^{0,1L_n}). \tag{8.13}$$

Уровень звукового давления в точке, расположенной на расстоянии r от источника шума на открытой площадке, определяют следующим образом. Предположим, что он равномерно излучает звуковую энергию в пространстве (рис. 8.24). Тогда сила звука в произвольно заданной точке на расстоянии r от источника шума в случае пренебрежения его затуханием в среде распространения (воздухе) равна

$$I_r = W/S = W/(2\pi r^2). \tag{8.14}$$

Величины акустической мощности приводятся в паспорте на оборудование, поэтому они известны. Перейдем к уровням звукового давления, т. е.

$$10 \lg \frac{I_r}{I_o} = 10 \lg \left(\frac{W}{W_o} \; \frac{1}{r^2} \; \frac{1}{2\pi} \right). \qquad (8.15)$$

Левая часть выражения (8.15) представляет собой уровень звукового давления в точке на расстоянии $r(L_T)$, а правая часть – логарифм произведения, ее можно представить следующим образом:

$$10 \lg \frac{W}{W_o} - 20 \lg r - 10 \lg 2\pi. \qquad (8.16)$$

Первое слагаемое в (8.16) представляет собой уровень звукового давления, создаваемого источником шума $L_и$, поэтому выражение (8.15) с учетом затухания колебаний в среде распространения примет вид

$$L_r = L_и - 20 \lg r - 8 - \Delta, \qquad (8.17)$$

где Δ – затухание шума в воздухе, его величины в зависимости от среднегеометрической частоты октавных полос приведены ниже:

f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Δ, дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Уровень звукового давления с учетом отраженной звуковой энергии (например, в помещении, рис. 8.25) определяют следующим образом. Предположим, что источник шума равномерно излучает звуковую энергию вокруг себя, тогда сила шума в любой заданной точке помещения будет состоять из силы прямого $I_{пр}$ и отраженного $I_{отр}$ звуков, т. е.

$$I_r = I_{пр} + I_{отр}. \qquad (8.18)$$

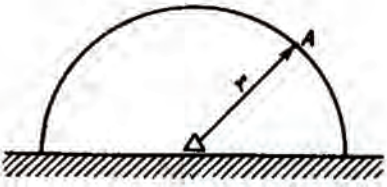

Рис. 8.24. К определению уровня звукового давления в точке, расположенной на расстоянии r от источника шума на открытой площадке

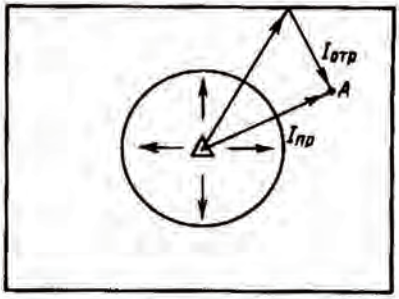

Рис. 8.25. К определению уровня звукового давления в помещении

Сила прямого звука определяется по формуле (8.14), но с учетом того, что $S = 4\pi r$. Сила отраженного звука

$$I_{отр} = 4W/R, \tag{8.19}$$

где R – постоянная помещения, $R = S_1\alpha_{ср}/(1 - \alpha_{ср})$; S_1 – площадь ограждений помещений; $\alpha_{ср}$ – средний коэффициент звукопоглощения ограждения помещения,

$$\alpha_{ср} = \frac{S_1\alpha_1 + ... + S_n\alpha_n}{S_1 + ... + S_n};$$

$S_1, ..., S_n$ – площадь ограждения, характеризуемая своими коэффициентами поглощения звуковой энергии; $\alpha_1, ..., \alpha_n$ – коэффициенты звукопоглощения отдельными участками помещения (определяются по табл. 8.6 и 8.7).

При расположении источника шума на полу посредине помещения, на полу посредине стенки помещения, на полу в углу помещения уровень звукового давления будет определяться аналогичным образом. Но в выражении для площади (8.14) будут изменяться коэффициенты 4π, 2π, π, $\pi/2$. Для практических расчетов более удобно пользоваться формулой (8.14).

Влияние места установки источника шума в помещении на уровень шума в точке учитывается при помощи коэффициента направленности B: вблизи центра помещения $B = 1$, на полу в центре помещения $B = 2$, на полу посредине стены $B = 4$, на полу в углу помещения $B = 8$.

Подставив значения $I_{пр}$ и $I_{отр}$ в формулу (8.18), с учетом коэффициента направленности после преобразований будем иметь

$$I_r = \frac{BW}{S} + \frac{4W}{R} = W\left(\frac{B}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right). \tag{8.20}$$

Уровень звукового давления определим по формуле (8.20), логарифмируя отношение левой части к I_0 и правой части к W_0, т. е.

$$10\lg\frac{I_r}{I_0} = 10\lg\left[\frac{W}{W_0}\left(\frac{B}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)\right], \tag{8.21}$$

или делая соответствующие буквенные замены в (8.21). После несложных преобразований получим

$$L_r = L_и + 10\lg\left(\frac{B}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right).$$

В производственных помещениях располагается несколько источников шума, зачастую их количество довольно значительно. Уровень звукового давления в заданной точке от нескольких источников шума (рис. 8.26) находят путем суммирования силы шума от каждого источника, т. е. $I_{\text{п}} = I_1 + ... + I_n$, где $I_1, ..., I_n$ – сила шума от каждого источника на расстоянии r.

Предположим, что $I_1 = ... = I_n$, т. е. сила шума всех источников в заданной точке равна, тогда

$$I_{\text{п}} = In, \tag{8.22}$$

где n – количество источников шума.

Уровень звукового давления получим логарифмированием отношения правой и левой частей равенства (8.22) к $I_{\text{о}}$, т. е.

$$10 \lg \frac{I_{\text{п}}}{L_{\text{о}}} = 10 \lg \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{о}}} n, \tag{8.23}$$

или, заменяя буквенные обозначения в формуле (8.23), после несложных преобразований будем иметь

$$L_{\text{п}} = L_{\text{и}} + 10 \lg n = L_{\text{и}} + \Delta_1, \tag{8.24}$$

где Δ_1 – прибавка, зависящая от количества источников звука; при $n = 2$ $\Delta_1 = 3$, при $n = 10$ $\Delta_1 = 10$.

Формула (8.24) применяется и при разных уровнях звукового давления источников шума. В таких случаях прибавка зависит от разности уровней звукового давления двух источников и суммируется с максимальным уровнем шума. Ее значения приведены ниже:

$L_1 - L_2$ ..	0	1	2	3	4	5	6	8	10
Δ_1	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,6	0,4

Если в точке шум создается несколькими источниками с разными уровнями звукового давления, то общий уровень звукового давления определяется поочередно для каждых двух источников. При этом источники, отличающиеся от определяемого более чем на 10 дБ, в расчете не принимаются.

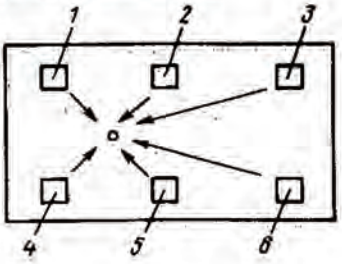

Рис. 8.26. К определению уровня звукового давления от нескольких источников шума

Величина допустимого уровня шума $L_д = L_{ПС} + \Delta_2$, где $L_{ПС}$ – уровни шума по ПС (см. табл. 8.3); Δ – поправка, зависящая от продолжительности действия шума и других факторов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое вибрация, шум, ультра- и инфразвук?
2. Почему вибрация, шум, инфра- и ультразвук нормируются в октавных полосах?
3. Когда применяют октавные и узкополосовые анализаторы спектра?
4. Каковы методы снижения шума, как их используют при проектировании зданий и оборудования, а также при их эксплуатации?
5. Как определить допустимый уровень шума на рабочем месте?
6. Как определить уровень шума на рабочем месте при проектировании зданий?
7. Как влияет отраженный шум на общий уровень шума в цехе?

Глава 9. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

§ 9.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГОРЕНИЯ

Повышение защиты предприятий от пожаров – одна из основных проблем, стоящих перед народным хозяйством. Особое значение имеет решение этой проблемы в особо опасных в пожарном отношении отраслях: химической, нефтяной и некоторых других, в том числе и судостроительной. В этих отраслях несмотря на крупные достижения в разработке техники защиты и борьбы с пожарами размеры ущерба от пожаров за последние годы возрастают. Это можно объяснить увеличением масштабов производств и их концентрацией, повышением мощностей оборудования, возрастанием использования пожароопасных веществ (нефтепродуктов, пожароопасных газов и т. д.). Пожары нередко сопровождаются человеческими жертвами.

Не менее актуальна задача борьбы с пожарами при эксплуатации судов. Несмотря на значительное увеличение оснащения судов электронной навигационной техникой, позволяющей управлять судами в любой ситуации и резко повысить безопасность мореплавания, проблема пожарной безопасности в судовой практике не решена.

Горением называются химические реакции, сопровождающиеся выделением тепла и свечением. Горение возможно при наличии горючего вещества, окислителя и источника воспламенения.

Горючим веществом может быть твердое, жидкое или газообразное вещество, у которого при определенных условиях могут возникать химические реакции с выделением теплоты.

В качестве окислителей могут быть хлор, фтор, сера и другие вещества. Но в большинстве случаев окислителем являются кислород воздуха. Кроме этого, горение возможно в присутствии кислородсодержащих веществ, которые при нагревании разлагаются с выделением кислорода, например бертолетовой соли,

$$2KClO_3 + Q \rightarrow 2KCl + 3O_2 ,$$

где Q – количество теплоты, необходимое для нагревания бертолетовой соли до температуры ее разложения.

Такими же свойствами обладают марганцевокислый калий ($KMnO_3$), селитра (KNO_3, $NaNO_3$) и некоторые другие вещества.

По мере уменьшения концентрации кислорода интенсивность горения тоже снижается. При наличии в воздухе 10–12 % по объему кислорода реакция горения обычно прекращается. Исключением является горение водорода, сероуглерода и некоторых других веществ, которые могут гореть даже при снижении содержания кислорода до 5 %.

Источник воспламенения – это любое тело, имеющее необходимый запас теплоты. Как правило, таким запасом теплоты обладает любое тело с температурой порядка 500 °С (открытое пламя, горячие и раскаленные тела, электрический разряд, искры от удара и т. д.).

Для соединения горючих веществ с окислителем необходимо, чтобы они находились в газообразном состоянии. Большинство веществ находится в твердом или жидком состоянии. Для перехода в газообразное состояние к ним необходимо подвести теплоту, т. е. повысить их температуру, на что они реагируют по-разному. Так, сера при нагревании сначала плавится, затем испаряется; древесина, бумага – разлагаются с образованием газа; жидкие горючие вещества – испаряются. Некоторые вещества (древесный уголь, кокс и др.) при нагревании не разлагаются на газообразные продукты. В этом случае их соединение с окислителем происходит по поверхностному слою, однако только при определенной температуре.

Горение может являться не только окислительным процессом. Оно может происходить и в результате разложения некоторых веществ (например, ацетилена) с выделением теплоты.

Интенсивность протекания химических реакций зависит также и от концентрации газообразных продуктов горючих веществ в воздухе. Испарение этих веществ может происходить и при нормальных условиях, т. е. при $T = 20 \div 30$ °С. Однако чтобы создать необходимую для горения концентрацию газообразных продуктов горючих веществ в воздухе, интенсивность преобразования в газообразное состояние большинства жидких и твердых веществ в таких условиях недостаточна. Такая концентрация возможна только при повышенной температуре. В случае контакта смеси с источником воспламенения она загорается, при этом образуется незначительное количество теплоты, которое рассеивается в окружающую среду, поэтому горение прекращается.

С повышением температуры горючего вещества интенсивность его испарения, а следовательно, и концентрация его газообразных продуктов в воздухе и количество образованной теплоты увеличиваются. При этом теплота не успевает отводиться в окружающую среду и начинается самонагревание горючего вещества. В результате самонагревания горючее вещество без внешнего источника теплоты нагревается до температуры, при которой интенсивность испарения будет достаточной для горения. Поэтому при контакте смеси с источником воспламенения горючее вещество загорится, появится пламя и возникнет устойчивый процесс горения, который может продолжаться до полного выгорания вещества.

Теоретические основы горения разработаны академиками А. Н. Бахом и И. Н. Семеновым. Согласно этой теории под воздействием лучистой энергии молекулы отдельных веществ распадаются на атомы и радикалы, т. е. частицы с повышенной химической активностью. Это приводит к образованию цепных реакций, которые могут быть разветвляющимися и неразветвляющимися.

Пример неразветвляющихся цепных реакций – горение водорода в хлоре (рис. 9.1, *а*). Из рисунка видно, что поглощение молекулой хлора кванта световой энергии приводит к образованию двух атомов хлора, которые химически активны, поэтому, вступая в реакцию с водородом, они дают начало цепным реакциям. Характерным для этих реакций можно считать то, что до их возникновения была одна активная частица, а в результате таких реакций образуется также только одна активная частица.

Примером разветвляющейся реакции может служить горение водорода в кислороде (рис. 9.1, *б*). Как видно из рисунка, при воздействии источника теплоты достаточной интенсивности на смесь водорода с кислородом в результате их взаимодействия возникают две активные частицы (ОН), вступающие в реакцию с молекулой водорода, в результате чего возникает одна активная частица (Н). Ее взаимодействие с молекулой кислорода приводит к химической реакции с образованием двух активных частиц (О и ОН). Для этой реакции характерно то, что из одной активной частицы (Н) образуются две (О и ОН), т. е. реакция как бы разветвляется.

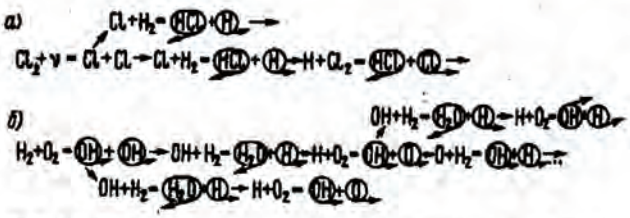

Рис. 9.1. Цепные реакции: *а* – неразветвляющаяся; *б* – разветвляющаяся

Таким образом, в общем случае схематически рассмотренные выше реакции горения можно представить в виде

$$ГВ + Q_1 + О + Q_2 = ПГ + Q_3,$$

где ГВ – горючее вещество; О – окислитель; Q_1 – количество теплоты, необходимой для нагревания горючего вещества до температуры, при которой происходит его разложение; Q_2 – количество теплоты, необходимой для воспламенения; ПГ – образовавшиеся продукты горения; Q_3 – образовавшееся в результате горения количество теплоты.

В зависимости от соотношения теплоты, подводимой к горючему веществу, и теплоты, образованный при горении, могут быть следующие виды горения.

Вспышка – вид горения от источника воспламенения, при котором подготовленное количество горючего вещества сгорает и горение прекращается. Минимальная температура, при которой появляется вспышка, называется *температурой вспышки.* При такой температуре над поверхностью горючего вещества образуются пары или газы, способные вспыхивать в воздухе от источника воспламенения, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

В зависимости от температуры вспышки различаются легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), к которым относятся жидкости, имеющие температуру вспышки менее 45 °С, и горючие жидкости, к которым относятся жидкости с температурой вспышки более 45 °С.

Воспламенение – вид горения, возникающий от источника воспламенения, при котором за время сгорания количества горючего вещества, подготовленного к горению, образуется такое же количество нового горючего вещества. Горение является устойчивым и может быть прекращено только при выгорании горючего вещества или же специальными способами. Это горение характеризуется температурой воспламенения, т. е. минимальной температурой горючего вещества, при которой скорость выделяющихся горючих паров или газов такова, что после их воспламенения от источника зажигания возникает устойчивое горение. Температура воспламенения в зависимости от горючего вещества на 2–30 °С больше температуры вспышки.

Самовозгорание – горение без контакта горючего вещества с источником воспламенения, возникающее в результате образования теплоты в самом горючем веществе в результате каких-то процессов или подвода теплоты извне и повышения его температуры до температуры воспламенения. В зависимости от процессов, при которых образуется теплота и повышается температура горючего вещества, различают тепловое, химическое и микробиологическое самовозгорание.

Тепловое самовозгорание возникает в результате нагревания горючего вещества за счет теплоты, поступающей от внешнего источника. Так, если горючее вещество нагревать, то даже при отсутствии источника воспламенения при какой-то определенной температуре оно обязательно воспламенится.

Микробиологическое самовозгорание возникает за счет теплоты, выделяющейся при интенсивном развитии отдельных видов микроорганизмов, находящихся в горючем веществе. Например, при хранении торфа определенной влажности в нем интенсивно развиваются микроорганизмы, выделяющие теплоту. Это приводит к повышению температуры торфа и более интенсивному развитию микроорганизмов, и, следовательно, к более интенсивному образованию теплоты. Если это теплота плохо отводится, то в торфе происходит ее накопление, приводящее к повышению его температуры. При температуре торфа порядка 75 °С все жизненные процессы микроорганизмов, находящихся в нем, прекращаются. Однако уже при температуре 70 °С начинается окисление отдельных веществ с образованием теплоты, поэтому температура торфа продолжает повышаться до его воспламенения. При перевозке торфа на судах случаи его воспламенения нередки.

Химическое самовозгорание возникает за счет теплоты, выделяющейся в результате химических реакций, происходящих в горючем веществе. Например, растительное масло при любой температуре окисляется. Однако при низкой температуре небольшой площади окисления и хорошем отводе теплоты повышения его температуры не происходит. Но при большой площади окисления и плохом отводе теплоты температура масла может сначала незначительно повыситься. Повышение температуры увеличивает активность окисления, что увеличивает количество образующейся теплоты и ее накопление в масле. Конечный итог этого процесса – воспламенение масла.

При длительном хранении промасленой ветоши в закрытой таре может произойти ее воспламенение. Причиной этого является то, что ветошь состоит из отдельных нитей, а последние – из отдельных ворсинок. В результате этого площадь окисления чрезвычайно увеличивается. При хранении ветоши в закрытой даже металлической таре отвод теплоты затруднен. Теплота, образующаяся при окислении, накапливается в ветоши и ее температура постепенно повышается. Конечный результат этого – воспламенение ветоши.

Минимальная температура, при которой происходит самовоспламенение вещества, называется *температурой самовоспламенения*. В зависимости от горючего вещества она изменяется в пределах 350–550 °С.

Взрыв – быстрое сгорание горючих веществ с образованием большого количества теплоты и газов. При взрыве в химическую реакцию вступают горючие вещества, находящиеся при нормальной температуре в газообразном состоянии, т. е. вещества с низкой температурой кипения. Однако и в этом случае воспламенение газов возможно только при их определенной минимальной и максимальной концентрации.

Минимальная концентрация газов в воздухе называется *нижним пределом воспламенения* $N_н = 100/[4{,}76(N-1)+1]$; максимальная концентрация газов называется *верхним пределом воспламенения* $N_в = 400/(4{,}76N+4)$, где N – количество атомов кислорода, необходимое для сгорания одной молекулы горючего вещества.

Таблица 9.1. **Некоторые характеристики твердых горючих материалов и веществ**

Материал, вещество	Температура, °С		Скорость выгорания, кг/(м²·мин)	Теплотворная способность, ккал/кг
	воспламенения	самовоспламенения		
Антрацит	300	500	·	8000–9000
Бумага разрыхленная	·	·	0,48	3200
Винипласт	580	580	·	4321
Гетинкс марки В	285	480	·	5283–5486
Дерматин	165	165	·	5146
Древесина сосновая	255	399	0,9–6,7	3300
Каучук натуральный	129	·	0,8	10 700
Каменный уголь	350	500	·	6000
Натрий металлический	·	370	0,9	2600
Резина	270	400	0,67	8000
Текстолит	·	·	0,4	5000
Торф в караванах	230	280	0,18	2700
Толь	210	407	0,24	3750
Хлопок разрыхленный	260	372	·	4205

Примечание. Жирная точка обозначает отсутствие данных.

Таблица 9.2. **Пожароопасные характеристики растворителей лакокрасочных материалов**

Жидкость	Температура, °С	
	вспышки	самовоспламенения
Ацетон	–20	500
Бутилацетат	13	375
Бутиловый спирт	28	410
Ксилол	17–25	495
Толуол	4	549
Уайт-спирит	35	270
Этиловый спирт	11	423
Этилацетат	–4	400
Растворители:		
Р-4	–7	550
РК-5-1	25	376
Р-2	30	382
Р-40	–7	415
В46	–7	403
В47	5	424
В48	13	388

Таблица 9.3. **Взрывоопасные характеристики горючих газообразных веществ**

Вещество	Температура самовоспламенения, °С	Предел взрываемости			
		нижний		верхний	
		% по объему	мг/л	% по объему	мг/л
Аммиак	651	16	111,2	27	187,7
Ацетилен	335	3,5	37,2	82	870
Бутан	490	1,6	38	8,5	201,5
Водород	530	4,15	3,45	75	62,5
Водяной газ	500–600	7,12	·	66–72	·
Генераторный газ	450–550	20,7	221	73,7	785
Доменный газ	500–600	35	315	74	666
Коксовый газ	640	4,4	·	34	·
Метан	550	5	32,6	16	104,2
Оксид углерода	610	12,8	145	75	850
Пропан	530	2,3	42,5	9,5	170,5
Природный газ	550–750	3,8	·	13,2	·
Сероводород	510	4,3	60,5	45,5	642,2
Этан	530	3	36,1	15	180,5
Этилен	540	3	34,8	34	392

Примечание. Жирная точка обозначает отсутствие данных.

Взрывобезопасной считается концентрация горючего вещества, составляющая 5 % нижнего предела воспламенения.

Характеристики некоторых твердых горючих материалов и веществ приведены в табл. 9.1, жидких веществ – в табл. 9.2 и газообразных веществ – в табл. 9.3.

§ 9.2. СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Для тушения пожаров необходимо создать в зоне горения такие условия, при которых самопроизвольное продолжение этого процесса будет невозможным.

Рассмотрим механизм горения твердых веществ, например древесины (рис. 9.2, *а*). Допустим, что процесс горения длился достаточно долго и принял устойчивый характер. В этом случае разложение древесины *1* на газообразные продукты происходит только в слое *2* толщиной 10–20 мм, который прогревается до температуры 200–700 °С. Образовавшиеся продукты *5* смешиваются с воздухом *3* и сгорают, образуя зону пламенного горения *4*.

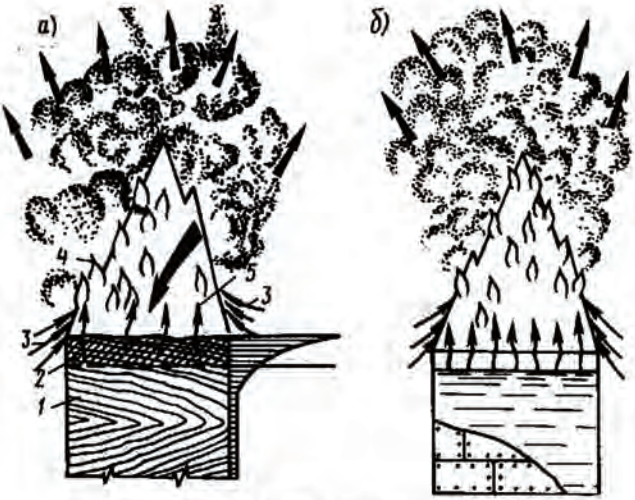

Рис. 9.2. Схемы процесса горения

Аналогичный механизм горения и у жидких веществ (рис. 9.2, *б*). Здесь также образование парообразных продуктов происходит в слое жидкости толщиной 10–20 мм.

Общим для горения как твердых, так и жидких веществ является то, что в горении участвуют не все горючие вещества, а только та часть, которая доведена до температуры получения необходимой интенсивности паров или газов. Толщина этого слоя составляет 10–20 мм. В зону выхода горючих газов подсасывается воздух, образуя смесь газов и воздуха, которая вступает в реакцию, образуя зону факельного горения.

Прекратить горение можно одним из следующих способов:

1) удалением горючего вещества из зоны горения;

2) снижением температуры горючего вещества до величины, ниже которой интенсивность образования газообразных продуктов будет недостаточной для горения;

3) прекращением доступа воздуха в зону выхода горючих паров и газов окислителя;

4) изоляцией горючих паров и газов от окислителя;

5) удалением активных центров из зоны горения.

Первый способ применим в основном только при тушении горючих жидкостей. Для этого в нижней части емкостей предусматриваются специальные аварийные трубопроводы, по которым в случае пожара жидкость удаляется.

Второй способ применяют, подавая к месту горения воду, огнетушащее действие которой объясняется ее большими теплоемкостью и теплотой испарения.

Теплоемкость – это количество теплоты, необходимой для нагревания 1 л воды на 1 °С. Для воды теплоемкость равна 4,2 кДж/(кг · °С).

Теплота парообразования – это количество теплоты, необходимой для испарения 1 кг воды. Для воды она равна 2236 кДж/кг.

Теоретически количество воды, необходимой для тушения пожара, можно определить из теплового баланса. Горение будет прекращено, если температура горючего вещества снизится до температуры, при которой прекратится образование газообразных продуктов. Для этого из зоны горения необходимо удалить количество теплоты

$$Q = Q_д + Q_п + Q_м , \qquad (9.1)$$

где $Q_д$ – количество теплоты, находящейся в нагретом слое (10–20 мм) горючего вещества; $Q_п$ – количество теплоты экзотермических процессов; $Q_м$ – количество теплоты, поступающей к поверхности горючего вещества от пламени из зоны горения.

Количество теплоты, отводимой водой при ее подаче к горючему веществу,

$$Q_г = Q_н + Q_и , \qquad (9,2)$$

где $Q_н$ – количество теплоты, необходимой для нагревания воды от начальной температуры до температуры кипения; $Q_и$ – количество теплоты, необходимой для испарения воды.

Расчеты по формулам (9.1) и (9.2) показывают, что если бы вода полностью использовалась для отвода теплоты, то ее удельный расход составил бы 0,5 л на 1 м² горящей поверхности.

Однако даже в случае самого успешного тушения пожаров расход воды равен 50–100 л/м² и нередко доходит до 1500–2000 л/м², т. е. коэффициент использования воды в большинстве случаев чрезвычайно низок из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения и небольшой вязкости воды. Следствием этого является то, что основная масса воды, подаваемая к месту горения, стекает и не участвует в отводе теплоты. (Известен случай, когда сброшенная в реку кипа горящего хлопка даже после извлечения ее из реки спустя несколько месяцев продолжала тлеть изнутри.)

Повысить эффективность тушения пожаров водой можно, увеличивая ее смачивающую способность и вязкость, создавая более благоприятные условия для ее испарения, а следовательно, и более интенсивного отвода теплоты.

Увеличение смачивающей способности достигается путем добавления к воде специальных веществ (ОП-7, ОП-10, ПО-1 и др.). Аналогично увеличивается и вязкость воды. Для этого используют альгинат натрия, калий карбоксиметилцеллюлозу и другие вещества. Применение этих веществ позволяет сократить количество подаваемой для тушения пожара воды в 5–10 раз и уменьшить величину ущерба, наносимого пожарами, на 15–20 %.

Перспективным для увеличения коэффициента использования воды является ее подача к месту горения в виде распыленных струй, т. е. мельчайших капель. При этом следует учитывать, что с уменьшением

размеров капель резко увеличивается их удельная поверхность, что способствует повышению интенсивности испарения, а следовательно, и повышению интенсивности отвода теплоты из зоны горения.

Однако с уменьшением размеров капель ухудшается их транспортирующая способность. Капля диаметром 0,1 мм в зоне горения полностью испаряется за 0,04 с. За это время она не успевает пройти даже зону факельного горения. Для тушения пожара ее необходимо доставить к поверхностному слою вещества с температурой 200–700 °С.

Следовательно, максимальная эффективность тушения будет при оптимальных размерах капель, зависящих от температуры горения вещества. Так, для тушения горящего бензина оптимальный размер капель 0,1 мм, керосина и спирта – 0,3 мм, нефтепродуктов – 0,5 мм и т. д.

Тушение пожаров водой является основным способом борьбы с ними. Это пока единственный способ, позволяющий снизить температуру в месте горения и исключить повторное самовозгорание. Но этот способ не всегда применим по ряду причин. Так, вода может реагировать с некоторыми металлами (натрием, калием и др.) и веществами (карбидом кальция). Большая плотность воды приводит к тому, что на ее поверхность всплывают нефтепродукты, приводя не к тушению пожара, а к его увеличению. Вода проводит ток, поэтому ее нельзя применять для тушения оборудования, находящегося под напряжением, и т. д.

Представляет интерес для тушения пожара перемешивание жидких горючих веществ при их горении в резервуарах путем подачи воздуха. В процессе горения участвует только поверхностный слой толщиной 10–20 мм, имеющий высокую температуру. Остальная часть жидкости, находящейся в резервуаре, как бы защищена этим слоем от лучистой энергии, образующейся при горении, и имеет низкую температуру. Следовательно, если жидкость перемешать, то температура этого слоя понизится и горение прекратится. Этого можно добиться, выпуская в нижнюю часть резервуара воздух. Этот способ может быть рекомендован для тушения пожаров в резервуарах горючих жидкостей с температурой вспышки более 60 °С.

Третий способ применяют для создания в зоне горения среды, не поддерживающей горение. При снижении содержания кислорода в окружающей среде до 10–12 % горение большинства веществ прекращается. Только некоторые из них способны гореть или тлеть при содержании кислорода 5–10 %. Следовательно, если горение происходит в закрытом помещении, то кислород воздушной среды постепенно используется, его концентрация уменьшается и через какое-то время горение должно прекратиться.

Ускорить прекращение горения можно, подавая в помещение инертные газы, не поддерживающие горение (диоксид углерода, азот, аргон), водяной пар, отработанные газы и т. д. При соответствующей концентрации, зависящей от инертного газа, горение прекратится. Например, горение ацетона прекращается при концентрации диоксида углерода в воздухе 9 % (по объему) и азота 6,5 %, хлопка соответственно 6 и 4 %.

Достоинством данного способа является то, что при тушении пожара в помещении оборудование и имущество не портятся. Этот способ применим только для защиты помещений, которые во время пожара можно герметизировать. Кроме того, теплота из очага горения удаляется только излучением в окружающую среду, поэтому температура в помещении снижается очень медленно. При преждевременном открытии доступа воздуха в помещение в нем возможно тепловое самовозгорание.

Применение инертных газов для тушения пожаров также ограничено. Так, диоксид углерода нельзя применять для тушения загоревшихся щелочных металлов, некоторых гидридов металлов и их соединений, в молекулы которых входит кислород, и т. д. Азот нельзя применять в тех случаях, когда имеется опасность образования нитридов металлов, обладающих взрывоопасными свойствами (магний, алюминий, литий, цирконий и др.).

Четвертый способ предусматривает применение пены, представляющей коллоидные системы из пузырьков воздуха, которая является одним из самых совершенных и широкоприменяемых огнетушащих средств для изоляции горючего вещества от окислителя. Огнетушащее действие пены заключается прежде всего в изолирующем эффекте и частично в охлаждении горячей поверхности водой, содержащейся в пене.

Основные характеристики пены – кратность, стойкость, дисперсность и вязкость. Кратность пены – это отношение объема образовавшейся пены к объему использованной воды. Стойкость пены характеризует ее сопротивляемость разрушению. Дисперсность характеризуется размерами пузырьков.

В зависимости от способа получения различают химическую пену и воздушно-механическую пену. Химическую пену получают с помощью химических процессов, протекающих в специальных пеногенераторах при взаимодействии растворов кислот и щелочей в присутствии пенообразующих веществ. Кратность этой пены 100–200. Ввиду сложности получения такой пены ее применение сокращается. Воздушно-механическую пену получают в пеногенераторах путем подачи в них пенообразующих растворов и воздуха. Кратность этой пены доходит до 1000.

Достоинство пены как огнетушащего средства – ее небольшая удельная масса. Это позволяет применять ее для тушения жидких горючих веществ. Пену высокой кратности можно применять и как объемное средство тушения пожаров путем ее подачи и заполнения пеной всего объема помещения.

Пятый способ является самым совершенным способом тушения пожаров (см. рис. 9.1). Сущность его заключается в том, чтобы в зону образования активных центров, т. е. в зону горения, подают химически более активное вещество, чем окислитель. В результате химической реакции этого и горючего веществ образуется вещество, не поддерживающее горение, активные центры ликвидируются и горение прекращается. Для этого применяют специальные вещества – ингибиторы.

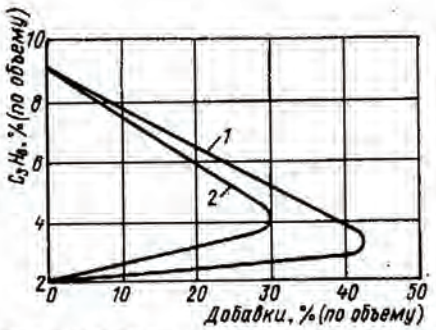

Рис. 9.3. Области воспламенения пропана в воздушной среде с добавками

1 – CO_2; *2* – хладон 114В2

В качестве ингибиторов применяют галогенуглеводородные соединения, например бромфторхлорпроизводные метана и этана. В нашей стране широкое применение находит хладон 114В2, за рубежом применяют другие хладоны, так, в США – 13В1, Англии – 12В1 и т. д.

Хладон 114В2 – тяжелая жидкость со специфическим запахом. Он имеет высокую плотность как в жидком, так и газообразном состоянии, что обеспечивает возможность создания струи и проникновения ее капель в пламя. Из рис. 9.3 следует, что огнетушащая концентрация (по объему) азота составляет 42 %, CO_2 – 28 %, а хладона 114В2 – только 3,2%. Большим достоинством хладона 114В2 является очень низкая температура замерзания (–110 °С), что позволяет применять его и при отрицательной температуре.

Бромхладоны применяют для объемного и поверхностного тушения небольших очагов пожаров, всех видов нефтепродуктов, твердых сгораемых материалов органического происхождения (водорода и др.). Их также применяют для создания взрывобезопасной среды с целью предупреждения взрывов.

Бромхладоны нельзя применять для тушения металлов, некоторых металлоорганических соединений, гидридов металлов, а также в тех случаях, когда окислителем является не кислород, а другие вещества. Недостатком бромхладонов является то, что при тушении пожара они образуют ядовитые газы.

В последнее время широко применяют порошковые огнетушащие вещества. Они могут быть общего и специального назначения. Порошковые вещества общего назначения (ПСБ, ПФ) применяют для тушения углеводородных горючих веществ. Порошки специального назначения (СИ) применяют для тушения металлов.

Огнетушащие свойства порошков объясняются ингибированием процесса горения, разбавлением горючей среды газообразными продуктами разложения, охлаждением зоны горения частицами порошка и огнепреграждением при прохождении пламени между частицами порошка.

Способ ликвидации активных центров горения является самым эффективным. Применив его, можно потушить любой пожар. Его основной недостаток заключается в том, что при тушении пожара сбивается пламя без снижения температуры в очаге пожара, что нередко является причиной теплового самовозгорания.

§ 9.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ПОЖАРООПАСНОСТИ

Опыт борьбы с пожарами показывает, что наиболее эффективным является их предупреждение путем устранения причин возникновения горения, которыми могут быть источник воспламенения, горючее вещество, окислитель. Однако полностью исключить возможность возникновения пожаров пока еще невозможно.

Эффективность тушения пожаров в значительной степени обусловлена строительными решениями: количеством этажей в здании, площадью помещений и этажей, планировкой, подбором материалов по горючести, конструкций по огнестойкости и т. д. Однако все эти меры могут привести к удорожанию стоимости проектирования и строительства зданий, а также испортить его архитектурный вид. В связи с этим необходимо четкое обоснование объема этих мер.

Недооценка пожароопасности нередко кончается не только разрушением здания, но и человеческими жертвами. Пример этого – пожар в торговом павильоне площадью 150 х 256 м для проведения ярмарки в 1986 г. в ФРГ. Увлечение архитектурным оформлением и необоснованная экономия при его строительстве привели к грубым нарушениям норм пожарной безопасности. Павильон был построен из алюминия и стекла, особенностью которых является то, что при небольшом повышении температуры (150–200 °С) они теряют свои прочностные характеристики. Внутри павильона все конструкции были обшиты древесностружечными плитами. В результате этого получилась большая удельная нагрузка сгораемых материалов на единицу площади здания. Для снижения стоимости строительства павильона не была предусмотрена автоматическая сигнализация обнаружения пожара, отсутствовали дымо- и теплоотводы в кровле и т. д.

9 января в павильоне возник пожар. Большой объем павильона затруднил его своевременное обнаружение. Отсутствие деления здания на отсеки и большая удельная нагрузка сгораемых материалов на единицу площади здания привели к быстрому распространению пожара. Из-за низких прочностных характеристик алюминиевых конструкций обрушилась кровля. Возник гигантский очаг огня, тушение водой которого было малоэффективным. Павильон был полностью уничтожен огнем. Таких примеров можно привести много.

Пожарная опасность промышленных предприятий определяется взрыво- и пожароопасными свойствами материалов, которые хранятся в здании (помещении) или используются при технологических процессах. В зависимости от характеристик этих материалов помещения и здания делятся на пять категорий: А, Б, В, Г и Д.

К категории А относятся помещения, где находятся вещества, способные взрываться или гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, жидкости с температурой вспышки до 28 °С и горючие газы в таком количестве, что они могут образовывать взрывоопасные смеси, при воспламенении которых создается избыточное давление более 5 кПа.

К категории Б относятся помещения, где находятся горючая пыль, волокно или жидкости с температурой вспышки более 28 °С в таком количестве, что возможно образование взрывообразных смесей, при воспламенении которых может создаться избыточное давление более 5 кПа.

К категории В относятся помещения, в которых находятся горючие и трудногорючие вещества, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

К категории Г относятся помещения, в которых находятся негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс их обработки сопровождается выделением лучистой энергии, искр, пламени, а также горючие вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

К категории Д относятся помещения, в которых находятся негорючие вещества в холодном состоянии.

В зависимости от площади, занимаемой помещениями определенной категории, здания также делятся на пять категорий: А, Б, В, Г и Д.

К категории А относятся здания, в которых суммарная площадь помещений категории А превышает 5 % их общей площади или 200 м². При оборудовании помещений установками автоматического пожаротушения суммарная площадь помещений категории А должна превышать 25 % общей площади здания или 1000 м².

К категории Б относятся здания, в которых суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % общей площади здания или 200 м². При оборудовании этих помещений установками автоматического пожаротушения суммарная площадь помещений категории Б должна превышать 25 % общей площади здания или 1000 м².

К категории В относятся здания, в которых суммарная площадь помещений категорий А, Б и В превышает 5 % площади здания или 1000 м². При отсутствии в здании помещений категорий А и Б суммарная площадь помещений категории В должна быть более 10 % площади здания. Если эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения, то суммарная площадь помещений категории В должна превышать 25 % площади здания или 3200 м².

К категории Г относятся здания, в которых суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г превышает 5 % общей площади здания или 1000 м². Если эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения, то суммарная площадь помещений категории Г должна превышать 25 % общей площади здания или 5000 м².

К категории Д относятся те здания, которые не входят в категории А, Б, В и Г.

§ 9.4. ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Пожарную безопасность зданий можно обеспечить только при исключении основных причин возникновения горения, т. е. при отсутствии

сгораемых материалов, окислителя и источника воспламенения. Проектирование зданий с учетом выполнения этого требования в настоящее время практически невозможно. В любом здании имеется вероятность возникновения пожара, довести эту вероятность к минимуму – первоначальная задача проектировщика.

При тушении возникшего пожара большое значение имеет ограничение его развития и распространения. Это в значительной степени обусловлено правильным подбором строительных материалов и конструкций здания.

Согласно СНиП 2.01.02–85 все строительные материалы делятся на негорючие, трудногорючие и горючие.

Испытания негорючих материалов проводят в трубчатой печи. Для испытаний изготовляют пять образцов цилиндрической формы диаметром 45±2 мм и высотой 50±3 мм, которые помещают в печь и выдерживают в течение 20 мин при температуре 800–850 °С. Материал считается негорючим, если средняя потеря массы не превышает 50 % начальной и средняя продолжительность тления не превышает 10 с.

Испытания трудногорючих материалов проводят в шахтной печи путем воздействия пламенем газовой горелки в течение 10 мин. Для испытаний изготовляют 12 плит длиной 1000±5 мм, шириной 190±3 мм и толщиной 0,25–50 мм. Плиты по четыре штуки устанавливают в держатель, который помещается в печь. В процессе испытаний обязательно регистрируют температуру на плитах и температуру дымовых газов.

Испытания горючих материалов проводят с помощью прибора „огневая труба" (ГОСТ 12.1.044–84) путем воздействия пламенем газовой горелки. Для испытаний изготовляют шесть образцов длиной 15 мм, шириной 35 мм и толщиной 10 мм. Материал считается горючим, если самостоятельное горение и тление продолжаются более 60 с, потеря массы хотя бы у одного из образцов превышает 20 % и пламя распространяется по всей поверхности образца.

Горючесть материалов можно определить и визуально. К негорючим относятся материалы, которые под воздействием открытого источника пламени или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют, не обугливаются (неорганические строительные материалы, металлы и т. д.).

Трудногорючими считаются материалы, которые под воздействием открытого источника пламени или высокой температуры воспламеняются, тлеют, обугливаются и продолжают гореть или тлеть только при наличии внешнего источника пламени (гипсовые и бетонные изделия с органическим заполнителем, древесина, пропитанная антипиренами, и др.).

К горючим относятся материалы, которые под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются, тлеют или обугливаются и продолжают гореть, а также тлеть или обугливаться и после удаления источника зажигания.

Строительные конструкции изготовляют из материалов различной горючести. Эти конструкции характеризуются огнестойкостью, под

которой подразумевается их возможность оказывать сопротивление действию огня и высокой температуры, сохраняя при этом свои несущие и ограждающие способности. Огнестойкость оценивают временным пределом, т. е. временем в часах от начала воздействия огня до потери несущей способности конструкции, образования трещин, сквозных отверстий или повышения температуры на необогреваемой поверхности более чем на 160 °С.

Потеря несущей способности конструкции – это ее деформация. При испытаниях горизонтальной конструкции можно считать, что деформация возникает тогда, когда ее прогиб составит 1/15 ее длины или скорость увеличения деформации $\upsilon = L/(9000 \cdot H)$ мм/мин (L, H – длина и высота конструкции, мм); для вертикальной конструкции деформация возникает тогда, когда ее прогиб составит 0,01 длины пролета или скорость увеличения деформации будет равна 10 мм/мин.

Предел огнестойкости определяют экспериментальным путем. Для этого конструкцию, имеющую натуральную величину, помещают в огневую камеру, придав ей такое положение, в котором она выполняет свои функции в здании, и подвергают нормативной нагрузке. Затем, сжигая жидкое топливо, в камере создают тепловой режим, соответствующий изменению температуры в закрытом помещении при пожаре, и определяют время до появления одного из ранее указанных признаков.

Расчетным путем определяют предел огнестойкости по методикам, разработанным ВНИИПО.

Совершенным несгораемым строительным материалом, позволяющим получить конструкции с максимальным пределом огнестойкости, является красный кирпич. Он сохраняет свои прочностные характеристики даже при температуре 900–1100 °С.

Огнестойкость конструкций из силикатных материалов несколько ниже, чем огнестойкость красного кирпича. Так, при температуре 600 °С в силикатном кирпиче происходит диссоциация гашеной извести и увеличение объема кремнезема, а при температуре 700 °С в нем появляются трещины.

Огнестойкость бетона зависит от вида применяемого заполнителя и марки цемента. Так, при гранитном наполнителе и температуре 600 °С прочность бетона уменьшается приблизительно в два раза, а при температуре 800 °С наступает его разрушение. У бетона с известковыми наполнителями разрушение наступает при температуре 700 °С.

Металлические конструкции при высокой температуре (500–600 °С) также теряют свои механические прочностные характеристики, поэтому их огнестойкость невысокая.

Пределы огнестойкости некоторых строительных конструкций следующие: для сплошных стен и перегородок из обыкновенного и силикатного кирпича, бетона, бутобетона и железобетона толщиной 12,5; 25 и 38 см предел огнестойкости соответственно 2,5; 5,5 и 11 ч; для стоек, колонн и столбов кирпичных, бетонных и железобетонных, имеющих размер сечения 20 х 20 см и 30 х 30 см, предел огнестойкости соответственно 2 и 3 ч; для стальных колонн незащищенных – 0,25 ч; для

Таблица 9.4. **Минимальные пределы огнестойкости строительных конструкций, ч, и максимальные пределы распространения по ним огня, см**

Степень огнестойкости зданий	Стены				Колонны	Лестничные площадки, косоуры, ступени, балки и марши лестничных клеток	Плиты, настилы (в том числе с утеплителем), другие ненесущие конструкции перекрытий	Элементы покрытий	
	несущие и лестничных клеток	самонесущие	наружные ненесущие (в том числе из навесных панелей)	внутренние ненесущие (перегородки)				плиты, настилы (в том числе с утеплителем), прогоны	балки, фермы, арки, рамы
I	2,5/0	1,25/0	0,5/0	0,5/0	2,5/0	1/0	1/0	0,5/0	0,5/0
II	2/0	1/0	0,25/0	0,25/0	2/0	1/0	0,75/0	0,25/0	0,25/0
III	2/0	1/0	0,25/0	0,25/40	2/0	1/0	0,75/25	н.н./н.н.	н.н./н.н.
IIIа	1/0	0,5/0	0,25/40	0,25/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0
IIIб	1/40	0,5/40	0,25/0	0,25/40	1/40	0,75/0	0,75/25	0,25/0	0,75/25
IV	0,5/40	0,25/40	0,25/40	0,25/40	0,5/40	0,25/25	0,25/25	н.н./н.н.	н.н./н.н.
IVа	0,5/40	0,25/40	0,25/н.н.	0,25/40	0,25/0	0,25/0	0,25/0	0,25/н.н.	0,25/0

Примечания. 1. В числителе приведены пределы огнестойкости, в знаменателе – пределы распространения огня. 2. Сокращение „н.н." означает, что показатель не нормируется. 3. Показатели степени огнестойкости V не нормируются.

стальных колонн, защищенных штукатуркой слоем 2,5 см, или бетонными плитками толщиной 5 см, или кирпичом толщиной 125 см, – соответственно 0,75; 2 и 5,25 ч; для железобетонных плит, балок, прогонов, перемычек с защитным слоем не менее 2 см – 1,5,

Для увеличения пределов огнестойкости применяют различные методы. Так, огнестойкость конструкций из кирпича, бетона, железобетона, камня и других материалов, имеющих низкий коэффициент теплопроводности, повышается при увеличении площади их поперечного сечения. Например, стены из кирпича толщиной 65 мм имеют предел огнестойкости 0,75 ч, а толщиной 380 мм – 11 ч.

Огнестойкость металлических конструкций практически не зависит от их толщины. Это объясняется большой теплопроводностью металла и потерей несущей способности в результате их деформации. Для повышения огнестойкости таких конструкций применяют штукатурку и облицовку несгораемыми или с низким коэффициентом теплопроводности материалами (кирпич, бетон, гипс и др.). Огнестойкость деревянных конструкций повышается пропиткой антипиренами, оштукатуриванием, облицовкой кирпичом и другими несгораемыми и огнезащитными покрытиями.

Одной из характеристик пожарной опасности конструкций является предел распространения огня, т. е. расстояние в сантиметрах от границы зоны нагрева до наиболее удаленной точки повреждения. Его определяют экспериментальным путем. Для этого изготовляют

Таблица 9.5. **Допустимое количество этажей в здании и их площадь***

Категория здания	Степень огнестойкости здания	Максимальное количество этажей	Площадь этажа между противопожарными стенами, тыс. м², для домов		
			одноэтажных	двухэтажных	трехэтажных и более
А, Б	I	6	Не ограничивается		
	II	6	"	"	"
	IIIа	1	5,2	–	–
В	I, II	8	Не ограничивается		
	III	3	5,2	3,5	3,6
Г	I, II	10	Не ограничивается		
	III	3	6,5	5,2	3,5
	IIIа	6	Не ограничивается		
Д	I, II	10	"	"	"
	III	3	7,8	6,5	3,5
	IIIа	6	Не ограничивается		
	IIIб	1	25	–	–

*Таблица сокращена.

образец размерами не менее 2 х 2 м, который помещают в специальную огневую печь на 15 ± 0,5 мин. По истечении этого времени пламя в печи частично гасится, образец не позже чем через 2 мин снимается и определяется зона повреждения.

Здания и сооружения, а также их части в зависимости от минимальных пределов огнестойкости строительных конструкций и максимальных пределов распространения огня по этим конструкциям делятся на восемь степеней огнестойкости (табл. 9.4). В случаях, когда минимальный предел огнестойкости конструкций равен 0,25 ч, допускается применение незащищенных стальных конструкций.

Пожарная безопасность зданий при проектировании обеспечивается его объемно-планировочными решениями, подбором и компоновкой строительных конструкций, выбором и размещением противопожарных агрегатов и преград, планировкой путей эвакуации, подбором систем пожаротушения. Объемно-планировочные решения выполняются с учетом противопожарных расстояний между зданиями, их этажности, площади этажей и т. д. Согласно СНиП 2.09-02-85 они должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 9.5.

§ 9.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНОСТИ

Применение и хранение в помещениях взрывоопасных веществ в определенных условиях могут привести к поступлению их в воздух и образованию взрывоопасных смесей. В таких условиях большой опасностью являются возможные неисправности в электрических сетях: короткие замыкания, перегрузка отдельных участков сетей, большие переходные сопротивления и т. д.

В этих помещениях предупреждение взрывов достигается выполнением специальных мер, которые, однако, приводят к удорожанию эксплуатации электрических сетей и оборудования, поэтому их объем требует строгого обоснования.

Правилами устройства электрооборудования предусматриваются специальные взрывоопасные зоны, т. е. часть помещения, где возможно образование взрывоопасных смесей. Если при воспламенении этих смесей в помещении возникает расчетное избыточное давление более 5 кПа, то взрывоопасным считается все помещение. При образовании избыточного давления в помещении до 5 кПа взрывоопасной зоной считается часть помещения, ограниченная 5 м по горизонтали и вертикали от технологического оборудования, из которого возможно поступление горючих газов, паров, жидкостей и пыли.

В зависимости от условий, при которых может образоваться взрывоопасная воздушная среда, помещения делятся на зоны: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa.

К зоне В-I относятся помещения, в которых при нормальных недлительных режимах работы выделяются горючие пары или газы в таком количестве и с такими свойствами, что вместе с воздухом или

другим окислителем могут образовываться взрывчатые смеси. Например, помещения для приготовления лакокрасочных материалов, судовые помещения во время окрасочных работ и т. д.

К зоне В-Iа относятся помещения, в которых взрывоопасные смеси горючих газов и паров с воздухом или другим окислителем могут образовываться только при авариях или неисправностях. Например, помещения, в которых хранятся горючие вещества (газы) в баллонах, и т. д.

К зоне В-Iб относятся те же помещения, что и в зоне В-Iа, но имеющие одну из следующих особенностей: горючие газы в этих помещениях обладают высоким нижним пределом взрываемости и резким запахом при предельно допустимой концентрации по санитарным нормам (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок); при аварии не образуется общая взрывоопасная концентрация газовоздушной смеси, а возможна лишь местная (например, помещения для электролиза воды и поваренной соли); горючие газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости имеются в небольших количествах, не создающих общей взрывоопасной концентрации, и работа с ними проводится без применения открытого огня (например, помещения для хранения проб легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, лаборатории и др.).

К зоне В-Iг относятся территории с наружными установками, содержащими взрывоопасные газы, пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (газгольдеры, сливоналивные эстакады для легковоспламеняющихся жидкостей и др.).

К зоне В-II относятся помещения, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыль или волокна, способные образовывать с воздухом или с другим окислителем взрывчатые смеси.

К зоне В-IIа относятся помещения, в которых образование взрывоопасных смесей горючих пыли или волокон с воздухом возможно в результате аварии или неисправности (помещения для приготовления и упаковки измельченного сушеного угля, торфа, размольные отделения мельниц, склады муки и др.).

Согласно ПУЭ-85 в зависимости от склонности материалов к возгоранию внутри и вне помещений различают пожароопасные зоны П-I, П-II, П-IIа, П-III. *Пожароопасной зоной* называется пространство внутри и вне помещения, в пределах которого постоянно или периодически обращаются сгораемые вещества.

К зоне П-I относятся помещения, где хранят или применяют жидкости с температурой вспышки более 45 °С. К зоне П-II относятся помещения, в которых в результате технологических процессов выделяются горючие пыль и волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м к объему воздуха. К зоне П-IIа относятся помещения, в которых находятся твердые горючие материалы. К зоне П-III относятся зоны вне помещений, где обращаются горючие жидкости и твердые сгораемые вещества.

Границы пожароопасных зон устанавливает технолог вместе с инженером по электрооборудованию проектирующей или эксплуатирующей организации. Эти зоны должны находиться на расстоянии не менее 5 м от места расположения сгораемого материала.

§ 9.6. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

При неисправностях в электрических сетях и электрооборудовании электрическая энергия преобразуется в тепловую, в результате температура отдельных элементов может значительно повышаться, появляется искрение, что приводит к пожару. Анализ причин возникновения пожаров показывает, что на короткие замыкания приходится 43,3 %, на нарушение правил эксплуатации нагревательных приборов 33,3 %, на перегрузку электродвигателей и сетей 12,3 %, на образование больших местных сопротивлений 4,6 %, на искрение 3,3 %, на прочие причины 3,3 %.

Опасность взрывов и пожаров может возникнуть и при нормальной эксплуатации электрооборудования в результате искрения в пусковой аппаратуре, повышения температуры отдельных элементов и т. д. Например, температура в верхней части колбы лампы накаливания при ее нормальной эксплуатации равна 450–500 °С, т. е. она может служить источником воспламенения газообразной взрывоопасной среды.

Этой же температуры достаточно для воспламенения большинства твердых сгораемых материалов при их контакте с этими элементами. Так, на одном судостроительном предприятии в машинном зале вычислительного центра (ВЦ) возник пожар, и ВЦ почти полностью был уничтожен огнем. При выяснении причин пожара были отмечены следующие обстоятельства. Обслуживающий персонал заявил, что освещенность машинного зала очень низкая и является причиной переутомления и ошибок в работе. Начальник ВЦ дал команду электромонтеру заменить светильники более мощными. Электромонтер установил имеющиеся на складе открытые светильники с лампами накаливания. Однако их конструкция не предусматривала защиту между лампами и потолком, который представлял собой два слоя досок: первый – потолок ВЦ, второй – пол верхнего этажа. Через несколько месяцев эксплуатации в 12 ч ночи перекрытие загорелось. Огонь проник внутрь перекрытия. Автоматическая пожарная тепловая сигнализация сработала только тогда, когда перекрытие обрушилось и тушить пожар было чрезвычайно тяжело.

Предупреждение взрывов и пожаров при эксплуатации электрических сетей и электрооборудования достигается их соответствующим конструктивным исполнением. Однако это приводит к значительному удорожанию электрооборудования, поэтому при его выборе необходимо также учитывать состояние воздушной среды.

Различают взрывозащищенное электрооборудование и электрооборудование общего назначения.

Во взрывозащищенном электрооборудовании предусмотрены конструктивные меры по устранению или уменьшению возможности воспламенения окружающей среды. Электрооборудование общего назначения изготовляется без учета специфических условий эксплуатации (наличия взрыво- и пожароопасных материалов и веществ и т. д.).

Безопасность эксплуатации электрооборудования зависит в первую очередь от взрыво- и пожароопасных свойств газов, находящихся в окружающей среде. В ПУЭ приведена классификация взрывоопасных смесей. Основой классификации является безопасный экспериментальный максимальный зазор (БЭМЗ) между фланцами оболочки, через который не передается взрыв из оболочки в окружающую среду при любой концентрации смеси в воздухе.

По ПУЭ в зависимости от БЭМЗ смеси газов и паров с воздухом делятся на пять групп (I, II, IIA, IIB и IIC), а в зависимости от температуры самовоспламенения – на шесть групп (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

К категории I относятся смеси рудничного метана, для которого БЭМЗ превышает 1 мм. К остальным категориям относятся смеси промышленных взрывоопасных газов и паров, для которых БЭМЗ имеет следующие пределы: категория II – более 1 мм, категория IIA – 0,9–1 мм, категория IIB – 0,5–0,9 мм, категория IIC – менее 0,5 мм.

К группе T1 относятся взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом, температура воспламенения которых выше 450 °C, к группе T2 – с температурой 300–450 °C, к группе T3 – с температурой 200–400 °C, к группе T4 – с температурой 135–200 °C, к группе T5 – с температурой 100–135 °C, к группе T6 – с температурой 85–100 °C.

В зависимости от возможности образования взрывоопасных смесей в помещении необходимо подобрать электрооборудование с соответствующей защитой. Взрывозащищенное электрооборудование делится по уровням и видам защиты, группам и температурным классам.

Установлены следующие уровни взрывозащиты электрооборудования: повышенной защищенности против взрыва (знак уровня 2), взрывобезопасное (знак уровня 1) и особовзрывобезопасное (знак уровня 0).

ПУЭ допускают следующие виды взрывозащиты (в скобках указан знак взрывозащиты): взрывонепроницаемая оболочка (d), заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением (p), искробезопасная цепь (i), масляное заполнение оболочки с токоведущими частями (g), кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями (o), специальный вид взрывозащиты (s), защита вида (e).

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения делится на две группы: первая – рудничное оборудование, предназначенное для подземных выработок и шахт; вторая – оборудование для внутренней и наружной установки. Электрооборудование второй группы в зависимости от величины предельной температуры делится на шесть температурных классов.

Под предельной температурой подразумевается максимальная температура поверхности взрывозащищенного электрооборудования,

являющаяся безопасной по отношению к воспламенению окружающей среды. Для различных температурных классов она равна: для Т1 – 450 °С, для Т2 – 300 °С, для Т3 – 200 °С, для Т4 – 135 °С, для Т5 – 100 °С, для Т6 – 85 °С.

В маркировку взрывозащиты электрооборудования в указанной ниже последовательности входят: знак уровня взрывозащиты (2, 1, 0); знак Ex, указывающий на соответствие электрооборудования стандартам взрывозащиты; знак вида взрывозащиты (d, p, i, g, o, s, e); знак группы или подгруппы электрооборудования (I, II, IIA, IIB, IIC); знак температурного класса (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

Например, электрооборудование имеет маркировку 2ExeIIT6. Это значит, что в данном электрооборудовании уровень взрывозащиты 2, оно соответствует стандартам по взрывозащите, в нем использован специальный вид взрывозащиты, обеспечивающий исключение взрыва в смеси промышленных взрывоопасных газов и паров с воздухом, для которых БЭМЗ больше 1 мм, с температурой самовоспламенения в пределах 85–100 °С.

§ 9.7. ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Противопожарное водоснабжение – это комплекс инженерно-технических сооружений, предназначенных для забора, транспортировки, хранения и использования воды для тушения пожаров.

Вода для тушения пожаров подается по водопроводам. Различают хозяйственно-питьевые водопроводы, водопроводы технической воды, противопожарные и объединенные водопроводы. Противопожарные водопроводы, как правило, объединяют с водопроводами хозяйственно-питьевой или технической воды.

Наиболее распространенной является схема хозяйственно-противопожарного снабжения предприятия, приведенная на рис. 9.4. По этой схеме из открытого водоема (реки, водохранилища) вода забирается через водозаборное устройство *1* насосной станции первого подъема *2* и подается в водоочистительный комплекс *3*, где она очищается от твердых примесей, микроорганизмов и т. д. Затем вода поступает в резервуар для хранения чистой воды *4*, откуда забирается насосной станцией второго подъема *5* и подается в водонапорную башню *6*, а из нее по водопроводам *7* к месту использования.

В хозяйственно-противопожарных комплексах количество подаваемой воды должно удовлетворять требованиям хозяйственно-питьевых водопроводов и противопожарного водоснабжения. Противопожарное водоснабжение должно обеспечивать подачу воды на наружное тушение пожаров через гидранты согласно СНиП 2.04-02–85 и на внутреннее – из пожарных кранов и других устройств по СНиП 2.04-01–85.

Вода для тушения пожаров на территории предприятия распределяется при помощи сети водопроводов. Как правило, сеть должна быть кольцевой, допускающей отключение ее отдельных участков без нарушения подачи воды для тушения зданий. Длина тупиковых линий

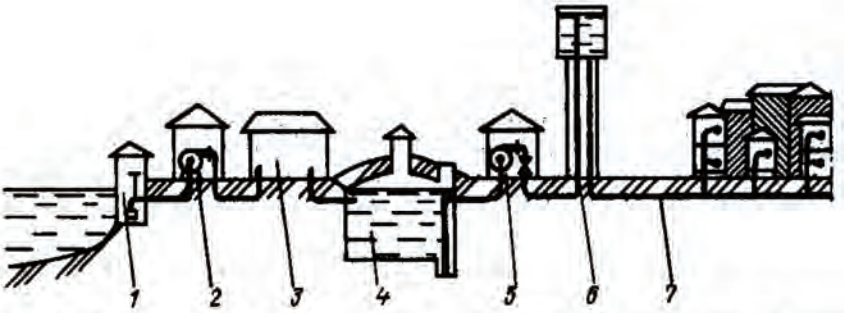

Рис. 9.4. Принципиальная схема хозяйственно-противопожарного водоснабжения предприятия

должна быть не более 200 м. Баки водонапорных башен должны содержать количество воды, необходимой для тушения пожаров внутри зданий в течение 10 мин. Забор воды из водопроводов для наружного пожаротушения производится через гидранты. Их располагают на расстоянии 2,5 м от края проезжей части дороги, но не ближе 5 м от зданий. В отдельных случаях допускается расположение гидрантов непосредственно на проезжей части дороги. Расстояние между гидрантами должно быть не более 150 м.

Количество воды для тушения пожаров определяют исходя из возможного числа одновременных пожаров на территории предприятия. Считается, что на территории предприятия в 150 га возможен один пожар, на территории более 150 га – два пожара. Расход воды для тушения одного пожара зависит от степени огнестойкости зданий и категории производства (табл. 9.6).

Давление воды в водопроводах низкого давления должно обеспечивать создание компактной струи высотой 10 м над поверхностью земли. При этом длина рукавов для подачи воды не должна превышать

Таблица 9.6. **Расход воды для наружного пожаротушения промышленных зданий на один пожар, л/с**

Степень огнестойкости здания	Категория производства	Объем здания, тыс. м³						
		< 3	3–5	5–20	20–50	50–200	200–400	> 400
I, II	Г, Д	10	10	10	10	15	20	25
I, II	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
III	Г, Д	10	10	15	25	–	–	–
III	А, Б, В	10	15	200	30	–	–	–
IV, V	Г, Д	10	15	20	30	–	–	–
IV, V	А, Б, В	15	20	25	–	–	–	–

150 м. В водопроводах высокого давления давление воды должно обеспечить образование компактной струи высотой 10 м над самой высокой точкой зданий.

Потери напора при подаче воды по прорезиненным рукавам диаметром 66 мм на 1 м рукава определяются по формуле $H = 0{,}00383Q$ м вод. ст., где Q – расход воды через рукав, м³/с.

Внутреннее противопожарное водоснабжение предусматривается для всех зданий. Исключение составляют: здания, в которых применение воды может вызвать взрыв, пожар, распространение огня; здания I и II степеней огнестойкости производств категорий Г, Д и Е; здания III, IV и V степеней огнестойкости производств Г, Д, Е при объеме зданий до 5000 м³.

Для тушения пожаров внутри зданий предусматриваются внутренние водопроводы. Как правило, их устраивают по кольцевой схеме с не менее чем двумя подключениями к наружному водопроводу. Забор воды из этих водопроводов производится через пожарные краны. Они располагаются на высоте 1,35 м от пола и оборудуются пожарными рукавами длиной 10, 15 или 20 м. Количество пожарных кранов определяют из расчета подачи не менее двух струй к любой точке пожара.

§ 9.8. АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Для тушения пожаров внутри зданий широкое применение получили спринклерные и дренчерные установки. Практика показала, что надежность их защиты высока – 96 % пожаров в помещениях, оборудованных этими установками, были потушены до прибытия пожарных команд.

В соответствии с „Перечнем вновь возводимых и реконструируемых зданий и помещений, объектов народного хозяйства, подлежащих оборудованию автоматическими системами пожаротушения", в судостроительной промышленности этими системами оборудуются:

– помещения плазоразметочные, деревообрабатывающие, деревоустановочные (комплектовочные) площадью 1500 м² и более;

– помещения изготовления шаблонов, изготовления судов из стеклопластика площадью 1000 м² и более;

– помещения очистки и грунтовки, изоляционные, малярные, окрасочные, термостатирования, пропиточные, обезжиривания, расконсервации, лакирования, специальных покрытий, резки и механической обработки пластмасс, испытания турбин и двигателей, масляные хозяйства компрессорных, изготовления и хранения макетов, смесеприготовительные с применением легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей, приготовления модельного состава и изготовления моделей, углеприготовительные, шлифовально-полировочные, механической обработки магниевых и титановых сплавов, электроэрозионной обработки в органических средах, ультразвуковой обработки в органических растворителях площадью 500 м² и более;

– центральные заводские лаборатории, лаборатории метрологических служб, помещения опытных, экспериментальных испытательных работ с применением ЛВЖ и ГЖ площадью 500 м² и более;

– окрасочные и сушильные камеры независимо от площади;

– помещения краскоприготовительные и клееприготовительные независимо от площади;

– склады шаблонов, ЛВЖ, ГЖ и смазочных материалов, горючих и синтетических смол, химикатов и пластмасс, кладовые материалов в трубозаготовительных цехах площадью 500 м² и более;

– помещения резинотехнических изделий, хранения резины и изделий из нее площадью 750 м² и более;

– кинозалы, просмотровые залы и фильмотеки независимо от площади;

– помещения офсетного и сеткографического методов отделений печатных плат, нанесения гравировальной эмали на стекла, изготовления сетчатых трафаретов, маркировки и лакировки микросхем, очистки подколпачных устройств, пропиточно-заливочные площадью 500 м² и более;

– помещения сборки, регулировки, прогона и термотренировки изделий площадью 750 м² и более;

– помещения (кабины, боксы) испытаний с применением ЛВЖ и ГД, насосные ЛВЖ и ГЖ независимо от площади;

– склады полупроводниковых приборов и интегральных схем, радиодеталей и радиокомпонентов площадью 500 м² и более.

Следует отметить, что выбор средств пожаротушения (вода, пена, газ, порошок) определяется технологическими требованиями и технико-экономическими обоснованиями.

Перечень распространяется на проектируемые и реконструируемые здания и помещения.

Спринклерная установка водяного пожаротушения (рис. 9.5) состоит из водоема *1*, насоса *2*, водонапорного бака *3*, магистрального водопровода *4*, устройства оповещения о возникновении пожара и включении системы *5*, внутренних водопроводов *6* и спринклеров *7*.

Водонапорный бак предназначен для хранения запаса воды, необходимой для тушения пожара до включения насоса. Он также создает постоянный напор воды в водопроводах, что необходимо для автоматического срабатывания спринклера.

Подача воды к месту пожара в спринклерной системе производится через спринклеры.

Спринклер (рис. 9.6) представляет собой распылитель воды, отверстие которого закрыто специальной пробкой. Пробка удерживается в рабочем состоянии замком, который представляет собой две-три пластинки, спаянные между собой специальным легкоплавким припоем с температурой плавления 53–183 °С. Температура вскрытия спринклеров должна быть на 20–40 °С больше нормальной температуры в помещении.

При возникновении пожара вскрываются только спринклеры, расположенные в зоне пожара, что и определяет условия применения

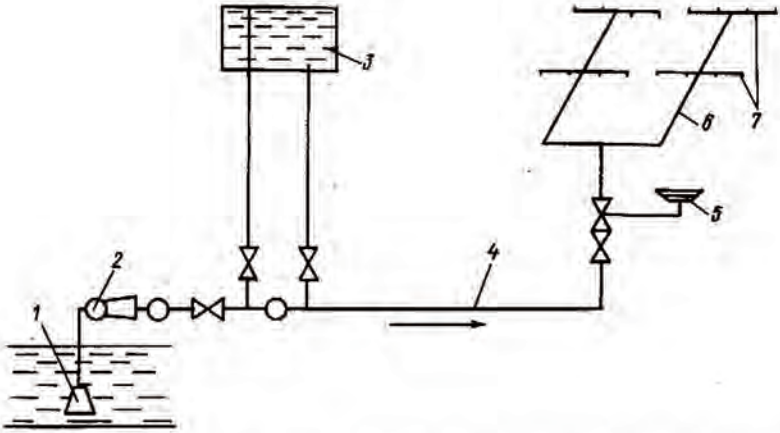

Рис. 9.5. Принципиальная схема спринклерной установки тушения пожаров

этой установки. Спринклерные установки применяют в помещениях, где невозможно быстрое распространение пожара.

Дренчерные установки отличаются от спринклерных только устройствами подачи распыленной воды к месту пожара. В качестве таких устройств в этих системах используются дренчерные оросители, представляющие собой распылители, отверстия которых не закрываются. Вода перекрывается клапаном группового распределения.

Запуск дренчерной установки в действие может производиться вручную, при помощи спринклерных головок или электрических датчиков, реагирующих на тепло, дым, свет. В таких установках вода подается в помещение одновременно из всех дренчеров. Дренчерные

Рис. 9.6. Спринклеры

установки применяют в помещениях, где возможно быстрое распространение пожара.

На базе рассмотренных установок ВНИИПО разработаны спринклерные и дренчерные установки тушения пожаров воздушно-механической пеной. Эти установки дополнительно оборудуются дозирующим устройством для подачи пенообразователя.

§ 9.9. УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

На предприятиях для тушения пожаров в качестве основной применяется система водяного пожаротушения. Однако вода не является универсальным средством тушения пожаров, так как эффективность ее применения невелика. Для системы водяного пожаротушения требуется непрерывная подача воды в очаг пожара, что при возгорании в закрытых помещениях не всегда возможно.

Более эффективны средства химического тушения пожаров. При их использовании даже развитые пожары в закрытых помещениях можно ликвидировать в течение 2–3 мин. Для доставки этих средств к месту пожара служат специальные установки пожаротушения.

В зависимости от конструкции специальные установки

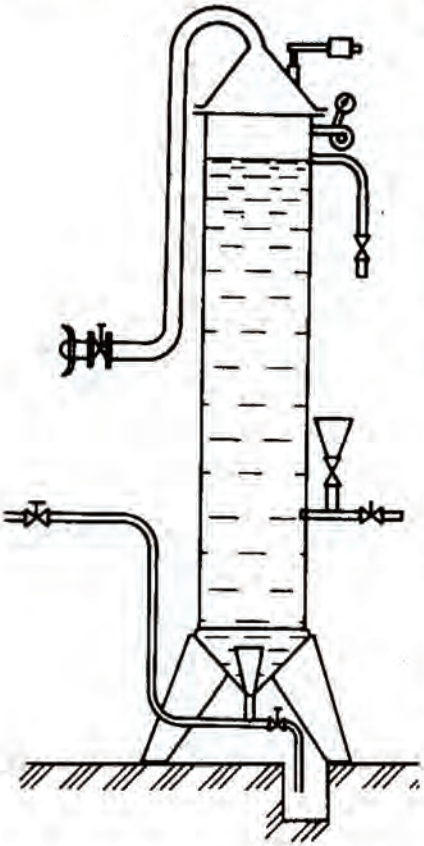

Рис. 9.7. Стационарная воздушно-пенная установка ОВПУ-250

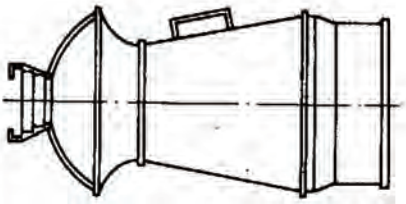

Рис. 9.8. Пеногенератор

пожаротушения делятся на стационарные и передвижные. Стационарные находятся непосредственно в охраняемом объекте, передвижные доставляются к объекту во время пожара.

Одним из самых распространенных средств тушения пожаров в закрытых помещениях является углекислый газ. Он не электропроводен, не вступает в химические соединения с другими веществами, не портит оборудование. Хранится углекислота в баллонах в жидком состоянии под давлением порядка 60 кг/см². В одном 40-литровом баллоне хранится 29 кг углекислоты. При огнегасящей концентрации 0,495–0,594 кг на 1 м³ защищаемого объекта этого количества достаточно для тушения пожара в помещении объемом 40 м³.

Стационарные углекислотные системы пожаротушения состоят из большого количества баллонов (10–15), которые устанавливают в специальном помещении. От баллонов газ поступает по трубопроводам в охраняемое помещение. Баллоны включаются автоматически или вручную. К месту пожара баллоны могут доставляться также машинами.

Расширяется применение огнегасящих составов „3,5" и „3,5В". Состав „3,5" состоит из 70 % бромистого этила и 30 % углекислого газа (по массе). В состав „3,5В" добавляется 2,5–3 части сжатого воздуха, что улучшает его транспортирующие свойства. Оба состава более эффективны, чем углекислота, их огнегасящая концентрация составляет 6,7 %. Они также хранятся в баллонах в жидком состоянии под давлением до 40 кг/см². В одном баллоне хранится 45 кг состава „3,5" и 42 кг состава „3,5В". Из этого количества при нормальном давлении получается 297 л паров. При огнегасящей концентрации 0,215–0,258 кг на 1 м³ помещения одного 40-литрового баллона достаточно для тушения пожара в помещении объемом 160 м³.

Для тушения пожаров успешно используется пена. Ее получают как в стационарных установках (рис. 9.7), так и при помощи специальных пеногенераторов (рис. 9.8).

Для тушения пожаров можно использовать пар, который получают в специальных установках, огнегасящие составы СЖБ и СЖБ-50, а также другие вещества, получаемые в специальных установках или доставляемые к месту пожара в баллонах.

§ 9.10. ПЕРВИЧНЫЕ СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Развитие пожара в помещении происходит чрезвычайно быстро. Экспериментальные данные показывают, что уже на пятой минуте после начала пожара температура в помещении поднимается до 550 °С. Это приводит к большой интенсивности горения, быстрому развитию и распространению пожара. Поэтому наиболее эффективно тушение пожара в его начальной стадии.

Для тушения пожара в начальной стадии служат первичные средства тушения пожаров. К ним относятся ручные огнетушители,

ведра и бочки с водой, лопаты, ящики с песком, асбестовые полотна, войлочные маты и другие подручные средства.

В зависимости от огнетушащего вещества огнетушители делятся на пенные, углекислотные, жидкостные и порошковые.

Наибольшее распространение имеют химические пенные огнетушители ОХП-10 (рис. 9.9, *а*). Такой огнетушитель представляет собой стальной баллон вместимостью 10 л, заполняемый раствором бикарбоната кальция ($NaHCO_3$) с экстрактом солодового корня. В верхней части баллона находится полиэтиленовый стакан вместимостью 0,45 л, заполняемый сернокислым оксидным железом и серной кислотой. Стакан закрывается крышкой, которая открывается рукояткой, находящейся в верхней части баллона.

Для приведения огнетушителя в действие необходимо повернуть рукоятку вверх (т. е. раскрыть стакан), а затем перевернуть огнетушитель (это вызывает смешивание щелочной и кислотной частей и образование химической пены). Струя пены, выходящая через отверстие, направляется на границу пламени, постепенно оттесняя ее к центру. Время действия огнетушителя 50–60 с. Так как пена проводит электрический ток, то для тушения пожаров электрооборудования под напряжением пенные огнетушители применять нельзя.

Воздушно-пенные огнетушители (рис. 9.9, *б*) ОВП-5, ОВП-10, ОВП-100 отличаются от ОХП-10 тем, что они заполняются 4–6 %-ным водным раствором пенообразователя ПО-1. Огнетушитель снабжается баллоном с жидкой углекислотой. Для приведения его в действие достаточно нажать на пусковой рычаг, шток опустится и откроет

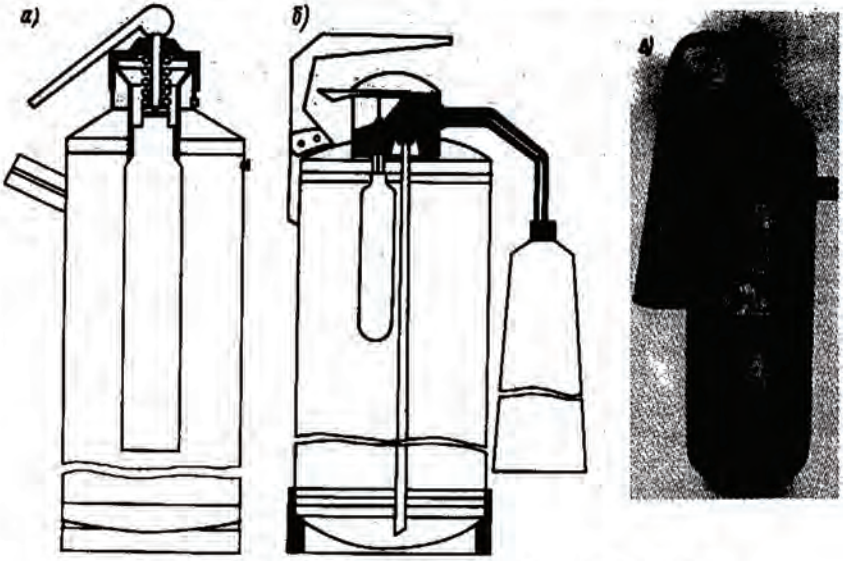

Рис. 9.9. Огнетушители: *а* – ОХП-10; *б* – ОВП; *в* – ОУ-5

баллон, из которого будет выдавливаться жидкая углекислота. При прохождении этой жидкости через специальную насадку образуется воздушно-механическая пена кратностью не менее 60.

Огнетушители ОВП-5, ОВП-10 и ОВП-100 отличаются от ОХП-10 также и вместимостью баллонов, условия их применения такие же, как и для ОХП-10.

Углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5 (рис. 9.9, *в*), ОУ-8, ОУ-25, ОУ-80 также представляют собой металлические баллоны, в которых находится сжиженный углекислый газ под давлением 60 кг/см². Для приведения в действие таких огнетушителей достаточно открыть вентиль. Углекислотные огнетушители для тушения щелочных металлов применять нельзя.

Таблица 9.7. **Расположение и количество, шт., первичных средств пожаротушения для различных объектов и помещений**

Объект, помещение	Расположение	Химический пенный огнетушитель ОХП-10	Углекислотный огнетушитель			Бочки с водой емкостью 200 л	Ящики с песком на 0,5 м³	Лопаты железные	Ведра пожарные
			ОУ-2	ОУ-5	ОУ-8				
Материальные склады	На каждые 100 м² пола	1	–	–	–	1	–	–	–
Механические мастерские	На 200 м² пола	1	1	–	–	–	1	2	–
Помещения кузниц и электросварочных мастерских	На 50 м² пола	1	1	–	–	1	1	2	1
Столярные и бондарные мастерские	На 200 м² пола	2	–	–	–	1	–	–	2
Электростанции	На 100 м² пола	1	–	1	–	–	1	2	–
Котельные	На 100 м² пола	1	–	–	–	–	1	2	2
Насосные по перекачке нефтепродуктов	На 50 м² пола	2	–	–	1	–	1	2	–

Жидкостные огнетушители (ОУБ-3А, ОУБ-7А) также представляют собой баллоны, которые заполняются огнетушащим составом 4НД, состоящим из 97 % бромэтила и 3 % углекислого газа. Для выброса заряда в огнетушитель закачивают воздух под давлением 8,6 кг/см².

В качестве огнетушащих средств могут использоваться и другие вещества, например БФ-1 в огнетушители СЖБ-50.

Наиболее эффективны порошковые огнетушители ОП-1 „Спутник", ОП-1 „Турист", ОП-2, ОП-10.

Огнетушитель ОП-1 „Спутник" представляет собой полиэтиленовый цилиндрический корпус вместимостью 1,2 л, заполненный порошком. Для приведения его в действие необходимо снять крышку и порошок вручную выбрасывается на очаг пожара.

Расположение и количество первичных средств пожаротушения для различных объектов и помещений приведены в табл. 9.7.

§ 9.11. ПОЖАРНАЯ СВЯЗЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ

Пожарная связь и сигнализация предназначены для своевременного обнаружения возникших пожаров и оповещения об этом, а также для управления подразделениями и группами тушения пожаров.

Различают общую, внешнюю и внутреннюю пожарную связь. При общей связи о тревоге оповещают гудками, колоколом, сиреной, частыми ударами по подвешеной рельсе и т. д. Основной недостаток общей связи – невозможность указать место пожара.

Внешняя связь осуществляется при помощи городской телефонной станции или радиоустановок и служит для оперативного оповещения и управления тушением пожара.

Внутренняя связь действует в пределах данного предприятия. Она служит для обнаружения пожара и оповещения о его возникновении в пределах предприятия. Для этого пользуются телефоном, автоматической и ручной сигнализацией обнаружения пожара.

Возникновение пожара в помещениях, где постоянно находятся люди, обнаруживается визуально, и по телефону или ручной сигнализацией об этом сообщается в пункт пожарной охраны. В помещениях с периодическим нахождением людей для обнаружения пожара предусматривается автоматическая пожарная сигнализация.

Основные требования к автоматической пожарной сигнализации – это исключение приема ложного сигнала, бесперебойность в работе, обнаружение пожара в самом начале его возникновения.

Блок-схема автоматической установки пожарной сигнализации СКПУ-1 приведена на рис. 9.10. Она состоит из блока питания *1*, приемной станции *2*, блока оповещения *3* и системы извещателей *4*.

Извещатели предназначены для преобразования параметров внешней среды, которые изменяются при пожаре, в электрические сигналы и передачи их на приемную станцию. Такими параметрами являются

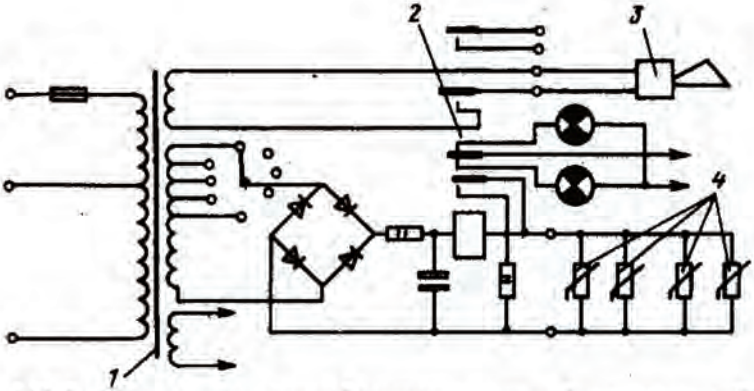

Рис. 9.10. Блок-схема автоматической установки пожарной сигнализации СКПУ-1

повышение температуры, появление дыма и света. Основные характеристики извещателей – чувствительность, инерционность и зона действия.

В зависимости от изменения величин параметров воздушной среды, вызывающих срабатывание извещателя, последние делят на четыре группы: тепловые, дымовые, световые и комбинированные.

В тепловых извещателях сигнал возникает в результате повышения температуры окружающей среды при пожаре. Они делятся на биметаллические, термопары и полупроводниковые. В биметаллических извещателях в результате деформации при нагревании биметаллической пластины происходит размыкание (например, в извещателе АТИМ-1) или замыкание (АТИМ-3) электрических контактов. Извещатели могут устанавливаться при помощи специальной стрелки и шкалы на температуру срабатывания 40, 50, 60, 70, 80 и 100 °С.

Для формирования сигнала в дымовых извещателях используется различная проводимость электрического тока воздушным промежутком при появлении дыма, в световых – при появлении света. В комбинированных извещателях используют одновременно несколько принципов формирования сигнала.

Сигнал от извещателей поступает на приемную станцию. Однако в большинстве случаев мощность этого сигнала недостаточна для воздействия на релейный орган. Поэтому на приемной станции его усиливают, затем анализируют и передают на релейный орган.

Станция работает следующим образом. При включении станции и использовании извещателей с нормально открытыми контактами ток проходит через шунтирующие извещатели сопротивления. При использовании извещателей с нормально закрытыми контактами ток проходит через извещатели и поступает на приемную станцию. После усиления и анализа тока приемная станция включает сигнал, при котором загорается лампочка зеленого цвета, сигнализирующая, что станция работает. В случае возникновения пожара сопротивление извещателей изменяется и на станцию поступает ток, после обработки которого включаются звуковой сигнал „Возник пожар" и лампочка красного цвета.

§ 9.12. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Для охраны предприятий и населенных пунктов установлено два вида пожарной охраны – профессиональная и добровольная.

Профессиональная пожарная охрана делится на военизированную (ВПО), невоенизированную (ППО) министерств внутренних дел и ведомственную.

Военизированная пожарная охрана осуществляет пожарную охрану в крупных промышленных центрах и на особо опасных промышленных предприятиях, в том числе и на большинстве судостроительных заводов. Профессиональная пожарная охрана осуществляет пожарную охрану во всех остальных населенных пунктах и предприятиях. Указанные виды пожарной охраны подчинены Главному управлению пожарной охраны (ГУПО).

В зависимости от степени пожарной опасности отраслей народного хозяйства в министерствах внутренних дел государств и автономных республик имеются управления (УПО) или отделы (ОПО) пожарной охраны.

Ведомственная пожарная охрана осуществляет пожарную охрану на отдельных промышленных предприятиях железнодорожного и водного транспорта. Нередко она объединяется в пожарно-сторожевую охрану. Для руководства ведомственной пожарной охраной в министерствах созданы управления, отделы или инспекции пожарной охраны. В особо опасных отраслях народного хозяйства отдельные объекты охраняют ведомственные военизированные пожарные части (ВВПЧ), военизированные горноспасательные или газоспасательные части (ВГСЧ) и т. д.

Представители Государственного пожарного надзора имеют право обследовать здания, сооружения и другие объекты, давать административно-техническим лицам обязательные предписания, требовать сведения, материалы, документы. Если необходимо, они имеют право приостанавливать работы на отдельных агрегатах, в цехах и предприятия в целом.

Общее руководство по обеспечению выполнения норм и правил пожарной безопасности на предприятии возлагается на его руководителя, который должен:

– обеспечить выполнение противопожарных мер при строительстве и эксплуатации всех объектов предприятия;

– организовать на предприятии пожарную охрану, пожарно-техническую комиссию, добровольные пожарные дружины (ДПД);

– систематически контролировать соблюдение всех противопожарных норм и правил.

Ответственность за пожарную безопасность на рабочих местах возлагается на руководителей цехов, отделов и других подразделений предприятия и непосредственных руководителей работ (механиков, энергетиков, мастеров).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие условия необходимы для горения?
2. Почему система водотушения является основной?
3. Когда тушение пожаров водой недопустимо?
4. Для чего здания и помещения классифицируются по пожаро- и взрывоопасности СНиП и ПУЭ?
5. Назовите основные требования, предъявляемые к системе автоматической сигнализации обнаружения пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеева И. С., Норкина Ю. И.* Гигиена и безопасность труда при электросварочных и плазменных работах в судостроении. Л.: Судостроение, 1984. 108 с.

2. *Баратов А. Н.* Новые средства пожаротушения // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. 1976. Т. 21. № 4. С. 10–13.

3. *Вентиляция* и отопление судостроительных заводов / М. И. Гримитлин, О. Н. Тимофеева, Е. М. Эльтерман, Л. С. Эльянов. Л.: Судостроение, 1978. 240 с.

4. *Гаевая Л. А.* Средства индивидуальной защиты глаз и лица на производстве. М.: Машиностроение, 1980. 310 с.

5. *Денисенко В. В., Точилкин В. Г.* Пожарная безопасность в строительстве: Справ. Киев: Будивельник, 1987. 238 с.

6. *Долин П. А.* Справочник по технике безопасности. М.: Энергоиздат, 1982. 800 с.

7. *Долин П. А.* Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоиздат, 1984. 451 с.

8. *Жолондковский О. И.* Внимание, воздух. М.: Московский рабочий, 1986. 160 с.

9. *Карпова Н. И., Малышев Э. Н.* Низкочастотные акустические колебания на производстве. М.: Медицина, 1981. 340 с.

10. *Кашуба В. А., Акифьев С. А.* Сравнительная характеристика условий труда и заболеваемости с временной утратой трудоспособности рабочих лазерного и сверлильного цехов на заводе точных технических приборов: Гигиенические аспекты охраны здоровья населения // Сб. науч. тр. Моск. науч.-исслед. ин-та гигиены им. Эрисмана. М., 1977. С. 122–125.

11. *Коваль В. И., Табунщиков А. М., Шустик А. Г.* Опыт использования местной вентиляции при сварке в среде CO_2 // Технология судостроения. 1990. № 4. С. 51–54.

12. *Контроль* шума в промышленности / Пер. с англ. Л.: Судостроение, 1981. 312 с.

13. *Лошаков К. А.* Техника безопасности при эксплуатации грузоподъемных машин. М.: Стройиздат, 1988. 108 с.

14. *Манойлов В. Е.* Основы электробезопасности. М.: Энергия. 1971. 310 с.

15. *Метрологическое* обеспечение безопасности труда: В 2-х т. Т. 1. Измеряемые параметры физических опасных и вредных производственных факторов / Под ред. И. Х. Сологяна. М.: Стандарты, 1988. 240 с

16. *Мигай К. В.* Гигиена и безопасность труда при электросварочных работах в судостроении. Л.: Судостроение, 1975. 208 с.

17. *Охрана* труда в машиностроении / Под ред. Е. Я. Юдина и С. В. Белова. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1983. 432 с.

18. *Охрана* труда и социальное страхование. 1989. № 11. С. 5.

19. *Охрана* труда. Экспресс-информация: Сер. Зарубежный опыт // М.: ВЦИИНОТ, 1986–1990.

20. *Планирование* условий труда / Под ред. И. Г. Чумаченко, А. И. Амосин. Киев: Наукова думка, 1983. 344 с.

21. *Судовые* системы вентиляции и кондиционирования воздуха / А. А. Мундингер, В. П. Мокрецов, А. Д. Тарасов, Е. И. Шифрин. Л.: Судостроение, 1974. 410 с.

22. *Шепелин А. П.* Гигиена труда в судоремонтной промышленности. М.: Машиностроение, 1979. 256 с.

23. *Щербина Я. Я.* Основы противопожарной техники. Киев: Вища школа, 1977. 234 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Глава 1. **ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ОХРАНЕ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ** 4
§ 1.1. Обязанности администрации предприятия по охране труда 4
§ 1.2. Организация государственного надзора за охраной труда 6
§ 1.3. Основные формы контроля охраны труда с участием трудящихся 7
§ 1.4. Основные положения системы обучения рабочих нормам и правилам охраны труда 9
§ 1.5. Основные положения системы обучения инженерно-технических работников нормам и правилам охраны труда 11
§ 1.6. Основные виды информации по охране труда 12
§ 1.7. Планирование и финансирование мероприятий по охране труда 15
§ 1.8. Виды ответственности за нарушения норм и правил охраны труда 18
Контрольные вопросы 23
Глава 2. **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ТРАВМАТИЗМ** 24
§ 2.1. Уровень производственного травматизма в разных странах 24
§ 2.2. Общие сведения о травматизме; причины травматизма 26
§ 2.3. Порядок расследования легких и тяжелых несчастных случаев 30
§ 2.4. Расследование случаев со смертельным исходом и групповых несчастных случаев 35
§ 2.5. Методы анализа производственного травматизма 37
Контрольные вопросы 38
Глава 3. **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ** 39
§ 3.1. Виды поражения электрическим током 39
§ 3.2. Основные факторы, определяющие тяжесть поражения током 40
§ 3.3. Основные факторы, определяющие возможность поражения током в различных электрических сетях 46
§ 3.4. Классификация помещений по степени опасности поражения током 52
§ 3.5. Методы автоматического контроля исправности изоляции токоведущих элементов электрооборудования 53
§ 3.6. Защитное заземление 59
§ 3.7. Приборы для контроля сопротивления заземления 70
§ 3.8. Устройство зануления электрооборудования 72
§ 3.9. Устройства автоматического отключения аварийных участков 74
§ 3.10. Индивидуальные средства защиты, применяемые при работе электроустановок 77

§ 3.11. Оказание первой помощи при электротравмах 79
Контрольные вопросы 82
Глава 4. **БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ** 83
§ 4.1. Безопасность труда при работе металлообрабатывающего оборудования 83
§ 4.2. Безопасность труда при сварочных работах 90
§ 4.3. Основные лакокрасочные материалы; безопасность труда при окрасочных работах 92
§ 4.4. Безопасность труда при работе грузоподъемных машин 98
§ 4.5. Безопасность эксплуатации герметичных систем, находящихся под давлением 101
§ 4.6. Средства наглядной агитации 104
Контрольные вопросы 107
Глава 5. **ОСНОВНЫЕ ВРЕДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЧЕЛОВЕКА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ** 107
§ 5.1. Состояние воздушной среды и ее влияние на человека 107
§ 5.2. Микроклимат рабочей зоны 110
§ 5.3. Приборы для контроля величин параметров микроклимата 115
§ 5.4. Основные вредные вещества в воздухе рабочей зоны 120
§ 5.5. Методы и приборы определения концентрации вредных веществ 123
§ 5.6. Определение интенсивности выделения вредных веществ 131
§ 5.7. Очистка воздуха от вредных веществ 133
§ 5.8. Индивидуальные средства защиты органов дыхания 139
Контрольные вопросы 142
Глава 6. **ВЕНТИЛЯЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ** 143
§ 6.1. Режимы движения потоков газов 143
§ 6.2. Определение количества воздуха, проходящего через воздуховод 145
§ 6.3. Виды потерь напора при движении потоков 146
§ 6.4. Системы вентиляции 150
§ 6.5. Основные характеристики вентиляторов 167
§ 6.6. Регулирование расходов воздуха в вентиляционных сетях 169
§ 6.7. Расчет вентиляционных сетей 171
§ 6.8. Отопление судостроительных цехов 177
§ 6.9. Организация и расчет естественной вентиляции 180
Контрольные вопросы 183
Глава 7. **ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ** 183
§ 7.1. Основные светотехнические характеристики 183
§ 7.2. Нормирование освещенности 188
§ 7.3. Приборы для определения характеристик света 191
§ 7.4. Виды естественного освещения 192
§ 7.5. Источники искусственного освещения 194
§ 7.6. Светильники 198
§ 7.7. Типы, виды и системы освещения 202
§ 7.8. Расчет освещенности 204
§ 7.9. Индивидуальные средства защиты зрительного аппарата 214
Контрольные вопросы 215
Глава 8. **ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ, ШУМА, ИНФРА- И УЛЬТРАЗВУКОВ** 216
§ 8.1. Общие сведения об инфра- и ультразвуках, шуме и вибрации 216
§ 8.2. Влияние шума и вибрации на организм человека 222
§ 8.3. Нормирование инфра- и ультразвуков, шума и вибрации 223
§ 8.4. Источники вибрации, шума, инфра- и ультразвуков 227
§ 8.5. Методы и приборы для контроля шума и вибрации 231

§ 8.6. Уровни звукового давления, создаваемого оборудованием 232
§ 8.7. Методы снижения шума; индивидуальные средства защиты 237
§ 8.8. Расчет уровней звукового давления шума в помещениях 244
Контрольные вопросы 249
Глава 9. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 249
§ 9.1. Теоретические основы горения 249
§ 9.2. Способы тушения пожаров 255
§ 9.3. Классификация промышленных помещений и зданий по пожароопасности 261
§ 9.4. Основы пожарной безопасности при проектировании и строительстве промышленных предприятий 262
§ 9.5. Классификация помещений по взрыво- и пожароопасности 267
§ 9.6. Классификация электроустановок по пожарной опасности 269
§ 9.7. Противопожарное водоснабжение 271
§ 9.8. Автоматические установки пожаротушения 273
§ 9.9. Установки пожаротушения 276
§ 9.10. Первичные средства тушения пожаров 277
§ 9.11. Пожарная связь и сигнализация 280
§ 9.12. Организация пожарной охраны на предприятиях 282
Контрольные вопросы 283
Список литературы 284