

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова»  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

**РАСЧЕТ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

Учебное пособие

для студентов специальности 240304 – Химическая технология  
тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Белгород  
2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова»  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Кафедра безопасности жизнедеятельности

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

**РАСЧЕТ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

Учебное пособие

для студентов специальности 240304 – Химическая технология  
тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Белгород  
2011

УДК 66.013.8(07)

ББК 65.246я7

Р 24

Рецензенты:

Кандидат технических наук, профессор

Белгородского государственного технологического

университета им. В.Г. Шухова В.Ю. Радоуцкий

Начальник отдела охраны труд ОАО «Белгородасбесто-  
цемент» А.П.Винаков

- Б 24     **Беляева В.И.** Расчет средств обеспечения безопасности труда: учеб. пособие/В.И.Беляева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – с.

В данном учебном пособии представлены краткие теоретические сведения, методики, необходимые справочные данные и примеры расчета системы аспирации, устройств, обеспечивающих защиту от шума и вибрации: звукоизолирующего экрана, звукоизолирующей стены с дверью, виброизолирующих оснований, электробезопасность: защитного заземления и зануления, систем обеспечения комфортных условий труда: воздушно-тепловой завесы и производственного освещения.

Учебное пособие предназначено для выполнения практических занятий и РГЗ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов специальности 240304.65 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов.

Учебное пособие публикуется в авторской редакции.

УДК 66.013.8(07)

ББК 65.246 я7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2011

## Введение

Одной из важных социально-экономических задач государства является улучшение условий труда. Производство строительных материалов связано с воздействием на работников ряда опасных и вредных производственных факторов. В их числе: запыленность и загазованность производственных помещений, повышенные уровни шума и вибраций, энергонасыщенность и другие.

В строительстве и производстве строительных материалов на работах с вредными условиями труда занято 26 % работающих. В соответствии с этим проблемы снижения уровня негативного воздействия вредных производственных факторов являются чрезвычайно актуальными. Современный инженер должен уметь идентифицировать опасности производственной среды, оценивать риск их реализации, осуществлять выбор методов и средств защиты от опасностей применительно к сфере своей профессиональной деятельности, способов обеспечения комфортных условий трудовой деятельности и осуществлять их расчет [1].

---

В соответствии с рабочей программой дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» по специальности 240304.65 «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» предусмотрено проведение практических занятий, на которых студенты выполняют расчеты средств обеспечения безопасности труда, расчетно-графическое задание, а также расчеты, направленные на улучшение условий труда и обеспечение безопасности, в соответствующем разделе выпускной квалификационной работы.

В данном учебном пособии представлены краткие теоретические сведения, методики, необходимые справочные данные и примеры расчета системы аспирации, устройств, обеспечивающих защиту от шума и вибрации: звукоизолирующего экрана, звукоизолирующей стены с дверью, виброизолирующих оснований, электробезопасность: защитного заземления и зануления, систем обеспечения комфортных условий труда: воздушно-тепловой завесы и производственного освещения.

## **1. Аэродинамический расчет аспирационной системы**

В ходе технологических процессов нередко образуется и выделяется большое количество пыли с превышением предельно допустимой концентрации ее в воздухе. Пыль относится к числу химических негативных факторов [1].

Основными профессиональными заболеваниями, связанными с воздействием пыли, являются пневмокониоз (заболевание легких, характеризующееся развитием фиброзных изменений), бронхит, аллергия, астма, дерматит, экзема, раздражение и зуд кожи, конъюнктивит, другие заболевания, обусловленные общетоксическим действием пыли. В зависимости от вещества, из которого состоит пыль, она может оказывать также канцерогенное, мутагенное воздействие, влиять на репродуктивную функцию [2].

В производстве строительных материалов наиболее распространенными видами пневмокониоза являются силикоз и силикатоз. Силикоз обусловлен воздействием пыли, содержащей свободный диоксид кремния. Силикатоз вызывают соли кремниевой кислоты. Наличие в составе пыли соединений шестивалентного хрома или асбеста может вызывать аллергические реакции и приводить к возникновению онкологических заболеваний. Пыль стекловолна оказывает раздражающее действие на верхние дыхательные пути, слизистую оболочку глаз и кожу.

В связи с этим проблема снижения содержания пыли в воздухе производственных помещений является чрезвычайно актуальной. Одним из способов предотвращения попадания пыли в воздушную среду является устройство систем аспирации. Аспирация – это локализация и удаление запыленного воздуха или промышленных газов из очагов интенсивного пылевыделения.

Примерное задание на проектирование: выполнить аэродинамический расчет системы аспирации от двух мест перегрузки сыпучих материалов.

Расчетная часть должна содержать следующие разделы [3]:

1. Аэродинамический расчет воздухопроводов аспирационной системы (АС):

1.1. Разбивка аспирационной системы на участки. Выбор главной магистрали.

1.2. Расчет параметров аспирируемого воздуха

1.3. Расчет участков воздухопроводов.

2. Выбор и расчет пылеулавливающего аппарата. Определение концентрации пыли в воздухе на выходе в атмосферу.

### 3. Расчет и выбор побудителя тяги.

Исходные данные для выполнения расчета задаются согласно табл. 1.1.

Таблица 1.1.

**Форма представления исходных данных**

| Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$ |       | Длина воздуховодов, м |       |       |       | Тип циклона | Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | Характеристика пыли |                         |                             |                                  |
|---------------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------------|---|---------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| $Q_1$                                 | $Q_2$ | $l_1$                 | $l_2$ | $l_3$ | $l_4$ |             |   | $C_n, \text{г/м}^3$ | $\lg \sigma_{\text{ч}}$ | $d_{\text{пм}}, \text{мкм}$ | $\rho_{\text{п}}, \text{кг/м}^3$ |

*Примечание.* Условные обозначения:  $Q_1, Q_2$  – объем воздуха, аспирируемого от местных отсосов;  $l_1 \dots l_4$  – длина участков АС;  $C_n$  – концентрация пыли на входе в циклонный пылеуловитель;  $d_{\text{пм}}$  – медианный (средний) диаметр частиц пыли;  $\lg \sigma_{\text{ч}}$  – дисперсия распределения частиц пыли по размеру;  $\rho_{\text{п}}$  – плотность пыли.

## 1. Аэродинамический расчет воздуховодов

Цель аэродинамического расчета – определение полных потерь давления в воздуховодах аспирационной системы.

Исходными данными для расчета являются расходы аспирируемого воздуха, которые подбирают с учетом свойств и количества транспортируемого материала и конструктивных особенностей аспирационного укрытия, и расчетная схема АС (рис. 1.1.). Длину воздуховодов и схему аспирационной системы определяют, исходя из плана цеха или участка.

### 1.1. Выбор главной магистрали

В начале расчета всю систему воздуховодов разбивают на участки. Расчетным участком называется та часть расчетной схемы АС, которая имеет постоянными как пропускаемый воздух, так и диаметр воздуховода.

Далее на схеме АС выделяют магистрали, по которым воздух удаляется на выброс от местных отсосов. Количество магистралей будет равно количеству местных отсосов, а главной из них считается самая протяженная или самая нагруженная (несущая максимальный расход воздуха), если магистрали одинаковы по длине.

Каждому расчетному участку присваивают порядковый номер. Порядковые номера участков проставляют последовательно от начала главной магистрали до ее конца, а затем – номера параллельно подключенных к ней участков (рис. 1.1).

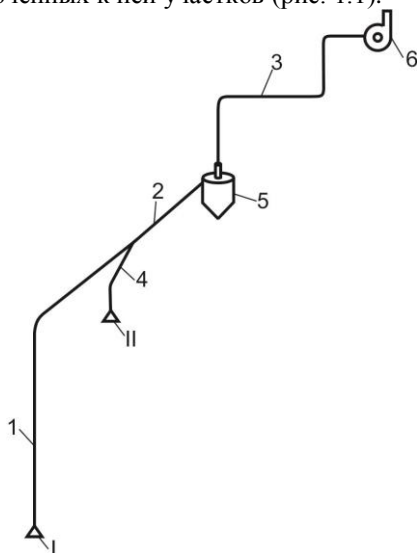


Рис. 1.1. Аксонометрическая схема аспирационной системы с двумя местными отсосами: I и II  
1 – 4 – участки газопроводов; 5 – циклон; 6 – вентилятор

## 1.2. Расчет параметров аспирируемого воздуха

Для выполнения аэродинамического расчета АС необходимо знать плотность и динамический коэффициент вязкости аспирируемого воздуха, температура  $t$  которого является в нашем случае основным фактором, определяющим их значения.

Плотность аспирируемого воздуха,  $\rho_v$ , кг/м<sup>3</sup>, с достаточной для практических расчетов точностью может быть определена по формуле:

$$\rho_v = \rho_0 \frac{273}{273 + t} \quad (1.1)$$

где  $\rho_0$  – плотность воздуха при нормальных условиях,  $\rho_0 = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – температура воздуха, °С.

Динамический коэффициент вязкости  $\mu$ , Па·с

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (1.2)$$

где  $\mu_0$  – динамический коэффициент вязкости воздуха при нормальных условиях,  $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6}$  Па·с;  $C$  – константа Сатерленда (табл. 1.5),  $C = 124$ ;  $T$  – абсолютная температура воздуха, К,  $T = (273 + t)$ .

### 1.3. Расчет участков воздуховодов

Полные потери давления в воздуховодах  $AC$  будут складываться из потерь давления в участках, составляющих главную магистраль, так как они соединены последовательно.

Расчет участков, составляющих главную магистраль, ведется поочередно и осуществляется следующим образом:

Задаются скоростью движения воздуха  $v$ . При этом необходимо помнить, что для предотвращения залегания пыли, выделяющейся в производстве строительных материалов, скорость не может быть менее 15 м/с на участках до пылеуловителя и должна составлять 12...15 м/с после него.

При расчете воздуховодов необходимо стремиться к тому, чтобы скорость воздуха по мере движения к пылеуловителю и от него несколько увеличивалась. Однако надо помнить, что высокие скорости требуют больших потерь давления, т.е. энергозатрат, поэтому не рекомендуется использовать скорости более 25 м/с.

Определяют расчетный диаметр воздуховода  $d_p$ , мм

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot v}}, \quad (1.3)$$

где  $Q$  – объем воздуха, м<sup>3</sup>/ч, определяемый по расчетной схеме  $AC$ . Например, на рис. 1.1 расходы воздуха составляют: для участка 1 –  $Q = 1700$  м<sup>3</sup>/ч, 2, 3 –  $Q = 1700 + 800 = 2500$  м<sup>3</sup>/ч; 4 –  $Q = 800$  м<sup>3</sup>/ч.

Исходя из полученного значения  $d_p$ , принимают стандартный диаметр трубопровода  $d$  из приведенного ниже ряда.

Нормируемые диаметры воздуховодов из листовой стали, мм:  
**100, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 325, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000.**

При этом необходимо помнить, что увеличение диаметра влечет за собой снижение скорости.

Уточняют скорость движения воздуха  $v$ , м/с

$$v = \frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (1.4)$$

Определяют динамическое давление  $P_d$ , Па

$$P_d = \frac{\rho_v \cdot v^2}{2}, \quad (1.5)$$

Вычисляют потери давления на трение по длине участка  $P_l$ , Па

$$P_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot P_d, \quad (1.6)$$



где  $l$  – длина расчетного участка, м;  $d$  – диаметр воздуховода, м.  
Для этого сначала рассчитывают число Рейнольдса  $Re$ :

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho_v}{\mu} \quad (1.7)$$

а затем коэффициент трения  $\lambda$ :

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (1.8)$$

где  $\Delta$  – шероховатость стенок воздуховода,  $\Delta = 0,1$  мм;  $d$  – диаметр воздуховода, мм.

Определяют потери давления на местных сопротивлениях  $P_m$ , Па

$$P_m = \sum \xi \cdot P_d, \quad (1.9)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке. Виды местных сопротивлений определяются по схеме, а их ориентировочные значения даны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

### Ориентировочные значения коэффициентов местных сопротивлений

| Вид местного сопротивления           | Коэффициент |
|--------------------------------------|-------------|
| Вход в пылеприемную воронку          | 0,2         |
| Пылеприемная воронка (местный отсос) | 0,15        |
| Отводы (повороты под углом):         |             |
| 90 град                              | 0,4         |
| 45 град                              | 0,2         |
| Тройники:                            |             |
| на проход                            | 0,3         |
| на ответвление под углом 45 град     | 0,2         |
| Вход:                                |             |
| в циклон                             | 0,5         |
| в вентилятор                         | 0,15        |
| Выход:                               |             |
| из циклона                           | 0,2         |
| из вентилятора                       | 0,1         |
| Выброс в атмосферу                   | 1           |

Рассчитывают потери давления  $P$ , Па, на участке:

$$P_l = P_l + P_m. \quad (1.10)$$

После завершения расчета всех участков, составляющих главную магистраль, определяют полные потери давления в воздуховодах  $AC$

как сумму потерь давления в данных участках. Например, для схемы на рис. 1.1 это будут участки 1–2–3. Тогда для данных условий:

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3. \quad (1.11)$$

Анализ расчета воздухопроводов главной магистрали показывает, что задаваемая скорость движения воздуха в значительной степени обуславливает величину возникающих в них потерь давления.

При расчете участков, подключенных параллельно к главной магистрали (рис. 1.1, участок 4), потери давления в них должны быть равны потерям давления в той части главной магистрали, которая идет от местного отсоса до точки подключения к ней параллельного участка. Данные потери давления называют располагаемым давлением  $P_p$  для параллельно подключенного участка. Например, применительно к схеме на рис. 1.1. располагаемое давление  $P_p$  для участка 4 равно потерям давления на участке 1.

Расчет участков, подключенных параллельно к главной магистрали, осуществляется следующим образом:

Задаются стандартным диаметром воздуховода  $d$ , и вычисляют скорость движения воздуха на участке  $v$ , используя зависимость (1.4).

Используя выражения (1.5)...(1.10), определяют потери давления на участке  $P$ .

Потери давления на участке должны соответствовать располагаемому давлению, несоответствие не должно превышать 10 %.

В случае, если данное условие не соблюдается, необходимо повторить все предыдущие расчеты, изменяя скорости движения воздуха на участках главной магистрали, что влечет за собой изменение располагаемых давлений для параллельных ветвей. Если и это не позволяет сбалансировать давление участков, то допускается как исключение применение нестандартного диаметра.

Результаты аэродинамического расчета воздухопроводов сводятся в таблицу, образец которой приведен ниже (табл. 1.3).

Таблица 1.3

### Результаты аэродинамического расчета воздухопроводов

| № уч. | $Q$ ,<br>м <sup>3</sup> /ч | $l$ ,<br>м | $v$ ,<br>м/с | $P_o$ ,<br>Па | $P_p$ ,<br>Па | $\sum \zeta$ | $P_m$ ,<br>Па | $P$ ,<br>Па | Давление в магистрали,<br>Па | Отклонение от $P_p$ ,<br>% |
|-------|----------------------------|------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------------|------------------------------|----------------------------|
| 1     | 2                          | 3          | 4            | 5             | 6             | 7            | 8             | 9           | 10                           | 11                         |

Графы 1...3 заполняются по исходным данным и схеме АС, графы 4...9 – по данным расчета. В графу 10 вносится давление в конце участков, составляющих главную магистраль, которое складывается из

полных потерь давления на данном участке плюс потери в предшествующих ветвях. Например, в строку участка 1 вносятся потери давления на данном участке; в строку 2 – сумма потерь на участках 1 и 2; в строку 3 – сумма потерь на участках 1, 2 и 3. Так как участок 3 является последним в главной магистрали, то значение, проставленное в графе 10, представляет собой полные потери давления воздухопроводов АС  $P_c$ . Графа 11 заполняется только для участков, которые подключены параллельно к главной магистрали.

Отклонение от располагаемого давления, %

$$\Delta = \frac{P_p - P}{P_p} \cdot 100 \quad (1.12)$$

## 2. Расчет циклона

Методика расчета циклона заключается в следующем.

1. Исходя из выбранного типа циклона, определяют значение оптимальной скорости газа  $v_{\text{опт}}$  в сечении аппарата (табл. 1.4).

Таблица 1.4

### Параметры, определяющие гидравлическое сопротивление и эффективность циклонов НИИОГаз

| Параметр  | Тип циклона |            |            |          |
|---|-------------|------------|------------|----------|
|   | ЦН – 11     | ЦН – 15    | ЦН – 15н   | ЦН – 24  |
| Диаметр частиц, улавливаемых на 50%, $d_{50}^T$ , мкм         | 3,65        | 4,50       | 6,00       | 8,50     |
| Дисперсия парциальных коэффициентов очистки $\lg \sigma_\eta$ | 0,352       | 0,325      | 0,352      | 0,308    |
| Оптимальная скорость $v_{\text{оп}}$ , м/с                    | 3,5         | 3,5        | 3,5        | 4,5      |
| Коэффициент местного сопротивления $\zeta_\eta$ , при выходе: |             |            |            |          |
|   | 245<br>250  | 155<br>163 | 165<br>170 | 75<br>80 |

2. Рассчитывают необходимую площадь сечения циклона  $S$ ,  $\text{м}^2$ :

$$S = \frac{Q_{\text{ц}}}{3600 \cdot v_{\text{оп}}} , \quad (1.13)$$

где  $Q_{\text{ц}}$  – расход очищаемого воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

3. Определяют расчетный диаметр циклона  $D_p$ , м:

$$D_p = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} . \quad (1.14)$$

Полученный диаметр округляют до значения стандартного  $D_{ц}$ , мм, пользуясь рядом: **300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000.**

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне  $v$ , м/с:

$$v = \frac{4Q_{ц}}{3600 \cdot \pi \cdot D_{ц}^2} \cdot \quad (1.15)$$

5. Определяют потери давления в циклоне  $P_{ц}$ , Па:

$$P_{ц} = \xi_{ц} \frac{\rho_{в} \cdot v^2}{2}, \quad (1.16)$$

где  $\xi_{ц}$  – коэффициент местного сопротивления циклона (табл. 1.4).

6. Для расчета эффективности пылеулавливания в циклоне сначала определяют диаметр частиц пыли, которые улавливаются циклоном с эффективностью 50 % при рабочих условиях  $d_{50}$ , мкм:

$$d_{50} = d_{50}^r \sqrt{\frac{D_{ц}}{D_r} \cdot \frac{\rho_{пт}}{\rho_n} \cdot \frac{\mu}{\mu_r} \cdot \frac{v_{опт}}{v}}, \quad (1.17)$$

где  $d_{50}^r$  – диаметр частиц пыли, улавливаемых с эффективностью 50% (определяют по справочным данным, приведенным в табл. 1.4, в зависимости от типа циклона) при следующих условиях работы: скорость в сечении аппарата  $v_{опт}$ ; диаметр циклона  $D_r = 0,6$  м; плотность частиц пыли  $\rho_{пт} = 1930$  кг/м<sup>3</sup>; динамический коэффициент вязкости  $\mu_r = 22,2 \cdot 10^{-6}$  Па·с.  $D_{ц}$ ,  $\rho_n$ ,  $\mu$ ,  $v$  – параметры, соответствующие фактическим условиям работы циклона ( $\rho_n$  можно выбрать из табл. 1.6).

7. Рассчитывают параметр  $X$ , по которому определяют значение нормальной функции распределения  $\Phi(x)$  (табл. 1.5), представляющее собой эффективность пылеулавливания, выраженную в долях единицы:

$$X = \frac{\lg\left(\frac{d_{пм}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\chi}}}, \quad (1.18)$$

где  $d_{пм}$  – медианный диаметр частиц пыли (это такой средний диаметр, который делит всю массу частиц на две равные части по массе), мкм;  $\lg \sigma_{\chi}$  – дисперсия функции распределения частиц по массе или среднеквадратичное значение функции распределения, которое определяют, используя характеристики пыли (табл. 1.6), или исходные данные (табл. 1.1);  $\lg \sigma_{\eta}$  – дисперсия распределения парциальных коэффициентов очистки циклонного пылеуловителя (табл. 1.4).

Эффективность пылеулавливания циклонного аппарата  $\eta_{\text{ц}}$ , %:

$$\eta_{\text{ц}} = \Phi(x) \cdot 100. \quad (1.19)$$

Таблица 1.5

**Значения нормальной функции распределения**

| $x$   | $\Phi(x)$ | $x$   | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ |
|-------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 1     | 2         | 3     | 4         | 5    | 6         | 7    | 8         |
| -2,70 | 0,0035    | -1,00 | 0,1587    | 0,12 | 0,5478    | 1,26 | 0,8962    |
| -2,60 | 0,0047    | -0,96 | 0,1685    | 0,16 | 0,5636    | 1,30 | 0,9030    |
| -2,30 | 0,0107    | -0,92 | 0,1788    | 0,20 | 0,5793    | 1,34 | 0,9099    |
| -2,10 | 0,0179    | -0,88 | 0,1894    | 0,24 | 0,5948    | 1,36 | 0,9131    |
| -1,98 | 0,0239    | -0,84 | 0,2005    | 0,28 | 0,6103    | 1,40 | 0,9192    |
| -1,94 | 0,0262    | -0,80 | 0,2119    | 0,32 | 0,6255    | 1,42 | 0,9222    |
| -1,90 | 0,0288    | -0,76 | 0,2236    | 0,36 | 0,6406    | 1,46 | 0,9279    |
| -1,86 | 0,0314    | -0,72 | 0,2358    | 0,40 | 0,6554    | 1,48 | 0,9306    |
| -1,82 | 0,0344    | -0,68 | 0,2483    | 0,44 | 0,6700    | 1,52 | 0,9357    |
| -1,78 | 0,0375    | -0,64 | 0,2611    | 0,48 | 0,6844    | 1,56 | 0,9406    |
| -1,74 | 0,0409    | -0,60 | 0,2743    | 0,52 | 0,6985    | 1,58 | 0,9429    |
| -1,70 | 0,0446    | -0,56 | 0,2877    | 0,56 | 0,7123    | 1,62 | 0,9474    |
| -1,66 | 0,0485    | -0,52 | 0,3015    | 0,60 | 0,7257    | 1,64 | 0,9495    |
| -1,62 | 0,0526    | -0,48 | 0,3156    | 0,64 | 0,7389    | 1,68 | 0,9535    |
| -1,58 | 0,0571    | -0,44 | 0,3300    | 0,68 | 0,7517    | 1,72 | 0,9573    |
| -1,54 | 0,0618    | -0,40 | 0,3446    | 0,72 | 0,7642    | 1,74 | 0,9591    |
| -1,50 | 0,0668    | -0,36 | 0,3594    | 0,76 | 0,7764    | 1,78 | 0,9625    |
| -1,46 | 0,0721    | -0,32 | 0,3725    | 0,80 | 0,7881    | 1,80 | 0,9641    |
| -1,42 | 0,0778    | -0,28 | 0,3897    | 0,84 | 0,7995    | 1,84 | 0,9671    |
| -1,38 | 0,0838    | -0,24 | 0,4052    | 0,88 | 0,8106    | 1,86 | 0,9686    |
| -1,34 | 0,0901    | -0,20 | 0,4202    | 0,92 | 0,8212    | 1,90 | 0,9713    |
| -1,30 | 0,0968    | -0,16 | 0,4364    | 0,96 | 0,8315    | 1,94 | 0,9738    |
| -1,26 | 0,1038    | -0,12 | 0,4522    | 1,00 | 0,8413    | 1,96 | 0,9750    |
| -1,22 | 0,1112    | -0,08 | 0,4661    | 1,04 | 0,8508    | 2,00 | 0,9772    |
| -1,18 | 0,1190    | -0,04 | 0,4840    | 1,08 | 0,8599    | 2,10 | 0,9821    |
| -1,14 | 0,1271    | 0,03  | 0,5000    | 1,12 | 0,8688    | 2,30 | 0,9893    |
| -1,10 | 0,1357    | 0,02  | 0,5080    | 1,16 | 0,8770    | 2,40 | 0,9918    |
| -1,02 | 0,1539    | 0,01  | 0,5398    | 1,24 | 0,8925    | 2,70 | 0,9965    |

8. Концентрация пыли на выходе из циклона  $C_{\text{к}}$ , г/м<sup>3</sup>:

$$C_{\text{к}} = C_{\text{н}} \frac{100 - \eta_{\text{ц}}}{100}, \quad (1.20)$$

$C_{\text{н}}$  – концентрация пыли в газе на входе в циклон.

Таблица 1.6

## Характеристика некоторых видов пыли

| Наименование пыли, место ее образования                  | Плотность частиц пыли, кг/м <sup>3</sup> | Параметр, $d_{50}$ , мкм | Дисперсия, $\sigma_q$ | Размер частиц, мкм        |                    |                   |                    |                  |                 |                 |   |
|--|--|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|---|
|  |  |                          |                       | Суммарная масса частиц, % |                    |                   |                    |                  |                 |                 |   |
| Известняк:   |  |                          |                       |                           |                    |                   |                    |                  |                 |                 |   |
| помол в шахтной мельнице                                 | 2706                                     | 25                       | 2                     | <u>2,5</u><br>1,5         | <u>4,0</u><br>3,0  | <u>6,3</u><br>7,0 | <u>10</u><br>14    | <u>16</u><br>28  | <u>25</u><br>50 | <u>40</u><br>80 |   |
| Обжиг в известковой печи                                 | 2700                                     | 29                       | –                     | <u>4,0</u><br>1,5         | <u>6,3</u><br>3,1  | <u>10</u><br>7,5  | <u>16</u><br>18    | <u>25</u><br>41  | <u>40</u><br>72 |                 | – |
| Сушка в сушильном барабане                               | 2900                                     | 2,9                      | 2,07                  | <u>1,0</u><br>8,0         | <u>1,6</u><br>21   | <u>2,5</u><br>42  | <u>4,0</u><br>70   | <u>6,3</u><br>86 | <u>10</u><br>96 |                 | – |
| Смесь известняка, шлака и колошниковой пыли              | 2800                                     | 4,5                      | –                     | <u>1,6</u><br>6,0         | <u>2,5</u><br>17,5 | <u>4,0</u><br>42  | <u>6,3</u><br>80   | <u>10</u><br>99  | –               | –               |   |
| Доломит, обжиг во вращающейся печи                       | 2960                                     | 25                       | –                     | <u>2,5</u><br>5,0         | <u>4,0</u><br>8,0  | <u>6,3</u><br>11  | <u>10</u><br>20    | <u>16</u><br>31  | <u>25</u><br>50 | <u>40</u><br>74 |   |
| Клинкер, обжиг во вращающейся печи                       | 2750                                     | 2,8                      | 2,3                   | <u>1,0</u><br>13          | <u>1,6</u><br>26   | <u>2,5</u><br>45  | <u>4,0</u><br>65   | <u>6,3</u><br>82 | <u>10</u><br>93 |                 | – |
| Пыль асфальтобетонного завода, сушка продукта в барабане | 2600                                     | 20                       | –                     | <u>1,6</u><br>2,3         | <u>2,5</u><br>4,0  | <u>4,0</u><br>7,5 | <u>6,3</u><br>12,4 | <u>10</u><br>23  | <u>16</u><br>38 | <u>25</u><br>64 |   |
| Доменный шлак, сушка в барабане                          | 2910                                     | 17,5                     | 3,5                   | <u>1,6</u><br>4,0         | <u>2,5</u><br>8,0  | <u>4,0</u><br>14  | <u>6,3</u><br>22   | <u>10</u><br>35  | <u>16</u><br>47 | <u>25</u><br>60 |   |

## 3. Расчет и выбор побудителя тяги

Рассчитывают производительность вентилятора, учитывая возможные подсосы воздуха в воздуховодах и пылеуловителе в количестве 10 %, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q_v = 1,1 \cdot Q_{ц} \quad (1.21)$$

Полное давление, развиваемое вентилятором  $P_v$ , Па:

$$P_v = 1,1 \cdot (P_c + P_{ц}) \quad (1.22)$$

Зная требуемые производительность и давление, подбирают вентилятор по рабочим характеристикам [3,4]. По этим характеристикам определяют число оборотов и КПД вентилятора  $\eta$ , а затем рассчитывают потребляемую мощность  $N$ , кВт:

$$N = \frac{P_v \cdot Q_v}{3600 \cdot \eta} \quad (1.23)$$

Пример. Расчет выполняется применительно к схеме аспирационной системы, представленной на рис. 1.1. Исходные данные приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

**Исходные данные\***

| Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч |       | Длина воздуховодов, м |       |       |       | Тип циклона | Температура воздуха, °С | Характеристики пыли      |                         |                       |                                       |
|-----------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| $Q_1$                             | $Q_2$ | $l_1$                 | $l_2$ | $l_3$ | $l_4$ |             |                         | $C_n$ , г/м <sup>3</sup> | $\lg \sigma_{\text{ч}}$ | $d_{\text{пм}}$ , мкм | $\rho_{\text{п}}$ , кг/м <sup>3</sup> |
| 1700                              | 800   | 15                    | 4     | 15    | 3     | ЦН-11       | 20                      | 2                        | 0,45                    | 30                    | 2600                                  |

\* Расход воздуха принимают, исходя из вида материала, конструкции укрытия и других характеристик. Длину участков воздуховода определяют, исходя из плана цеха.

Выбор главной магистрали: 1–2–3.

Рассчитываем параметры аспирируемого воздуха по формулам (1.1), (1.2):

– плотность  $\rho_e$ , кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_e = \rho_0 \frac{273}{273 + t} = 1,293 \frac{273}{273 + 20} = 1,205 \text{ кг/м}^3$$

– динамический коэффициент вязкости,  $\mu$ , Па·с:

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \left( \frac{T}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 124}{293 + 124} \left( \frac{T}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 18,3 \cdot 10^{-6}$$

Расчет участков воздуховодов

Расчет участка № 1

Задаемся скоростью движения воздуха на первом участке:

$$v = 15 \text{ м/с}$$

По формуле (1.3) определяем расчетный диаметр воздуховода  $d_p$ , м:

$$d_p = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1700}{3600 \cdot 3,14 \cdot 15}} = 0,200 \text{ м} = 200 \text{ мм}$$

Принимаем стандартный диаметр воздуховода  $d = 200 \text{ мм}$ .  
При несовпадении расчетного и стандартного диаметров воздуховода уточняем скорость движения воздуха  $v$ , формула (1.4), м/с:

$$v = \frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 1700}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2} = 15 \text{ м/с}$$

По формуле (1.5) вычисляем динамическое давление  $P_d$ , Па:

$$P_d = \frac{\rho_v \cdot v^2}{2} = \frac{1,205 \cdot 15^2}{2} = 135,6 \text{ Па}$$

По формуле (1.6) определяем потери давления на трение по длине участка  $P_l$ , Па

Для этого сначала рассчитываем число Рейнольдса по формуле (1.7):

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho_v}{\mu} = \frac{15 \cdot 0,2 \cdot 1,205}{18,3 \cdot 10^{-6}} = 0,197 \cdot 10^6$$

Затем по формуле (1.8) находим коэффициент трения  $\lambda$ :

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left( \frac{0,1}{200} + \frac{68}{0,197 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,0187$$

Тогда

$$P_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot P_d = 0,0187 \frac{15}{0,2} 135,6 = 190 \text{ Па}$$

Определяем потери давления на местных сопротивлениях по формуле (1.9):

$$P_m = \sum \xi \cdot P_d = 1,05 \cdot 135,6 = 142,4 \text{ Па}$$

$$\sum \xi = 0,2 + 0,15 + 0,4 + 0,3 = 1,05$$

$\xi = 0,2$  – вход в пылеприемную воронку (табл. 1.2);

$\xi = 0,15$  – пылеприемная воронка (табл. 1.2);

$\xi = 0,4$  – отвод под углом  $>90^\circ$  (табл. 1.2);

$\xi = 0,3$  – тройник на проход (табл. 1.2).

Суммарные потери давления на 1-м участке рассчитываем по формуле (1.10):

$$P_1 = P_l + P_m = 190 + 142,4 = 332,4 \text{ Па}$$



Аналогично определяем потери давления на 2-м и 3-м участках, учитывая при этом то, что объем воздуха в них равен сумме объемов воздуха, проходящего по 1-му и 4-му участкам воздуховодов, т.е.

$$Q = 1700 + 800 = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

#### *Расчет участка № 2*

Задаемся скоростью движения воздуха 16 м/с .

Расчетный диаметр воздуховода находим по формуле (1.3):

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 2500}{3600 \cdot 3,14 \cdot 16}} = 0,235 \text{ м}$$

Принимаем стандартный диаметр  $d = 0,225 \text{ м}$ .

Уточняем скорость движения воздуха на участке по формуле (1.4):

$$v = \frac{4 \cdot 2500}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,225^2} = 17,5 \text{ м/с}$$

По формуле (1.5) определяем динамическое давление:

$$P_d = \frac{1,205 \cdot 17,5^2}{2} = 184,5 \text{ Па}$$

Для определения потерь давления на трение по формулам (1.7), (1.8) находим:

$$\text{Re} = \frac{17,5 \cdot 0,225 \cdot 1,205}{18,3 \cdot 10^{-6}} = 0,259 \cdot 10^6$$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{0,1}{200} + \frac{68}{0,259 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,0179$$

Тогда согласно формуле (1.6):

$$P_l = 0,0179 \frac{4}{0,225} 184,5 = 58,6 \text{ Па}$$

По формуле (1.9) определяем потери давления на местных сопротивлениях:

$$P_m = 0,5 \cdot 184,5 = 92,3 \text{ Па}$$

По формуле (1.10) находим суммарные потери давления:

$$P_2 = 58,6 + 92,3 = 150,9 \text{ Па}$$

#### *Расчет участка № 3*

Задаемся скоростью движения воздуха на участке  $v = 14 \text{ м/с}$ .

Расчетный диаметр воздуховода согласно формуле (1.3):

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 2500}{3600 \cdot 3,14 \cdot 14}} = 0,251 \text{ м}$$

Подбираем стандартный диаметр 250 мм.

Уточняем скорость движения воздуха на участке:

$$v = \frac{4 \cdot 2500}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2} = 14,2 \text{ м/с}$$

Определяем динамическое давление:

$$P_d = \frac{1,205 \cdot 14,2^2}{2} = 121,5 \text{ Па}$$

Для определения потерь давления по формулам (1.7), (1.8) находим:

$$Re = \frac{14,2 \cdot 0,25 \cdot 1,205}{18,3 \cdot 10^{-6}} = 0,233 \cdot 10^6 ;$$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{0,1}{250} + \frac{68}{0,233 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,0178$$

Тогда

$$P_l = 0,0178 \frac{15}{0,25} 121,5 = 129,8 \text{ Па}$$

Потери давления на местных сопротивлениях:

$$P_m = 2,65 \cdot 121,4 = 322 \text{ Па}$$

$$\sum \xi = 0,2 + 0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,15 + 0,1 + 1 = 2,65$$

Суммарные потери давления на участке согласно формуле (1.10):

$$P_3 = 129,8 + 322 = 451,8 \text{ Па}$$

После завершения расчета всех участков, составляющих главную магистраль, определяем полные потери давления в воздухопроводах аспирационной системы (формула 1.11):

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 = 332,4 + 152,3 + 451,8 = 936,5 \text{ Па}$$

*Расчет участка № 4, подключенного параллельно к главной магистрали*

Принимаем стандартный диаметр воздуховода 100 мм, исходя из того, что объем воздуха, удаляемого от 2-го местного отсоса, примерно в 2 раза меньше, чем от первого.

Определяем скорость движения воздуха  $v$ , м/с:

$$v = \frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 800}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2} = 28,3 \text{ м/с.}$$

Это очень большая скорость, которая повлечет за собой высокие энергозатраты. Поэтому принимаем диаметр воздуховода 125 мм и снова рассчитываем скорость:

$$v = \frac{4 \cdot 800}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2} = 18,1 \text{ м/с}$$

Определяем динамическое давление:

$$P_d = \frac{1,205 \cdot 18,1^2}{2} = 197,4 \text{ Па}$$

Для определения потерь давления на трение рассчитываем число Рейнольдса  $Re$  и коэффициент трения  $\lambda$ :

$$Re = \frac{18,1 \cdot 0,125 \cdot 1,205}{18,3 \cdot 10^{-6}} = 0,149 \cdot 10^6;$$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{0,1}{125} + \frac{68}{0,149 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,02.$$

Тогда

$$P_l = 0,02 \cdot \frac{3}{0,125} \cdot 197,4 = 158 \text{ Па}.$$

Находим потери давления на местных сопротивлениях:

$$P_m = 0,95 \cdot 197,4 = 187,5;$$

$$\sum \xi = 0,2 + 0,15 + 0,4 + 0,2 = 0,95$$

Суммарные потери давления на участке:

$$P_4 = 158 + 187,5 = 345,5 \text{ Па}$$

По формуле (1.12) находим отклонение давления на параллельном участке № 4 от располагаемого:

$$\Delta = \frac{332,4 - 345,5}{332,4} \cdot 100 = -3,9\%,$$

что находится в пределах допустимого.

Результаты расчета воздуховодов сводим в табл. 1.8.

Таблица 1.8

### Результаты аэродинамического расчета воздуховодов

| № уч. | $Q$ ,<br>м <sup>3</sup> /ч | $l$ ,<br>м | $v$ ,<br>м/с | $P_d$ ,<br>Па | $P_l$ ,<br>Па | $\sum \xi$ | $P_m$ ,<br>Па | $P$ ,<br>Па | Давление в<br>магистральной,<br>Па | Отклонение<br>от<br>$P_p$ , % |
|-------|----------------------------|------------|--------------|---------------|---------------|------------|---------------|-------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1     | 1700                       | 15         | 15,0         | 135,6         | 190           | 1,05       | 142,4         | 332,4       | 332,4                              | -                             |
| 2     | 2500                       | 4          | 17,5         | 184,5         | 58,6          | 0,5        | 92,3          | 150,9       | 483,3                              | -                             |
| 3     | 2500                       | 15         | 14,2         | 121,5         | 129,8         | 2,65       | 322           | 451,8       | 935,1                              | -                             |

|   |     |   |      |       |     |      |       |       |   |      |
|---|-----|---|------|-------|-----|------|-------|-------|---|------|
|   |     |   |      |       |     |      |       |       |   |      |
| 4 | 800 | 3 | 18,1 | 197,4 | 158 | 0,95 | 187,5 | 345,5 | - | -3,9 |

## 2. Расчет циклона

1. Исходя из заданного типа циклона, определяем оптимальную скорость в сечении аппарата (табл. 1.4):

для циклона ЦН-11  $v_{\text{опт}} = 3,5$  м/с.

2. По формуле (1.13) рассчитываем необходимую площадь сечения циклона  $S$ , м:

$$S = \frac{2500}{3600 \cdot 3,5} = 0,198 \text{ м}^2$$

3. По формуле (1.14) определяем расчетный диаметр циклона  $D_p$ , м:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,198}{3,14}} = 0,502 \text{ м}$$

Округляем диаметр до стандартного  $D_{\text{ц}} = 500$  мм.

4. По формуле (1.15) определяем действительную скорость газа в циклоне

$$v = \frac{4 \cdot 2500}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 3600} = 3,5 \text{ м/с}$$

5. Затем определяем потери давления в циклоне по формуле (1.16).

Коэффициент местного сопротивления циклона находим по табл. 1.4:

$$\xi_{\text{ц}} = 245$$

Тогда

$$P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \frac{\rho_{\text{в}} \cdot v^2}{2} = 245 \cdot \frac{1,205 \cdot 3,5^2}{2} = 1808 \text{ Па}$$

6. Для расчета эффективности пылеулавливания в циклоне определяем диаметр частиц пыли  $d_{50}$ , мкм, которые улавливаются в циклоне с эффективностью 50 % при рабочих условиях (формула 1.17):

$$d_{50} = 3,65 \sqrt{\frac{0,5}{0,6} \cdot \frac{1930}{2600} \cdot \frac{18,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{3,54}} = 2,59 \text{ мкм}$$

7. По формуле (1.18) рассчитываем параметр  $x$ , по которому определяем значение нормальной функции распределения  $\Phi(x)$ :

$$x = \frac{\lg(30/2,59)}{\sqrt{0,352^2 + 0,55^2}} = 2,49$$

По табл. 1.6 определяем  $\Phi(x) = 0,99$ . Тогда эффективность улавливания пыли в циклоне:  $\eta_{\text{ц}} = 0,99 \cdot 100 = 99 \%$ .

8. По формуле (1.20) определяем концентрацию пыли в воздухе на выходе из циклона и аспирационной системы:

$$C_{\text{к}} = 2 \cdot \frac{100 - 99}{100} = 0,02 \text{ г/м}^3.$$

### 3. Расчет и выбор побудителя тяги

Производительность вентилятора с учетом подсосов находим по формуле (1.21):

$$Q_{\text{в}} = 1,1 \cdot 2500 = 2750 \text{ м}^3/\text{ч}$$

По формуле (1.22) находим полное давление, развиваемое вентилятором,  $P_{\text{в}}$ :

$$P_{\text{с}} = P_1 + P_2 + P_3 = 332,4 + 152,3 + 451,8 = 936,5 \text{ Па}$$

$$P_{\text{в}} = 1,1(936,5 + 1808) = 3018,9 \text{ Па}$$

Подбираем вентилятор ЦП 7-40 № 5 по рабочим характеристикам [4], рис. 1.2, 1.3 и по формуле (1.23) определяем потребляемую мощность, которая определяет выбор электродвигателя:

$$N = \frac{3018,9 \cdot 2750}{3600 \cdot 0,46} = 5013 \text{ Вт} = 5,013 \text{ кВт}$$

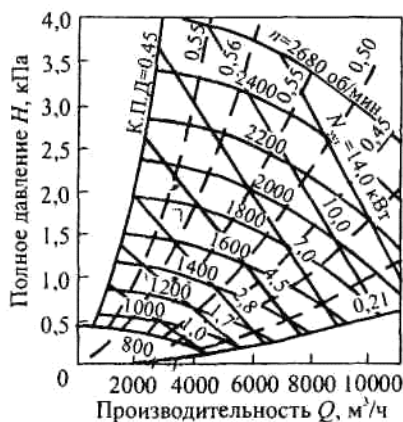


Рис. 1.2. Аэродинамическая характеристика вентилятора ЦП7-40 № 5 [7]

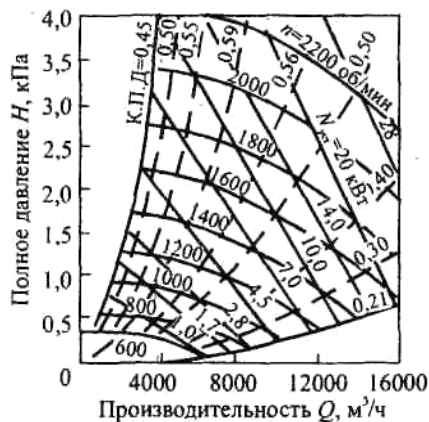


Рис. 1.3. Аэродинамическая характеристика вентилятора ЦП7-40 № 6 [7]

## 2. Расчет акустического экрана

Одной из важных проблем современного производства является защита работников от воздействия физических негативных факторов, к числу которых относятся шум и вибрации. Интенсивный шум возникает при работе дробилок, мельниц, вентиляторов, компрессоров, при факельном горении топлива, транспортировании материалов и т.д. Для защиты от шума применяют акустические экраны (рис. 2.1), звукоизолирующие кожухи, перегородки и другие средства коллективной и индивидуальной защиты.

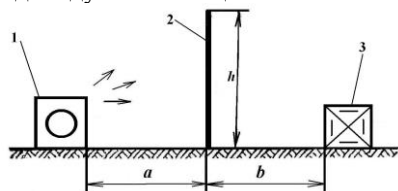


Рис. 2.1 Установка акустического экрана

1 – шумное оборудование; 2 – экран со звукопоглощающей облицовкой; 3 – рабочее место

*Примерное задание на проектирование:* выполнить проект акустического экрана, предназначенного для снижения уровня звукового давления на рабочем месте до допустимых значений.

Акустические экраны устанавливают в случае невозможности применения средств защиты от шума других типов.

При этом следует учитывать то, что на низких частотах шума экран практически не действует, так как низкочастотный шум за счет эффекта дифракции огибает экран.

### Методика расчета [5]

1. Вычисляют промежуточный коэффициент  $k$  по следующей формуле:

$$k = 0,05 \sqrt{f^4 \frac{h^2 (l/b)^2}{1 + 4(a/h)^2}}, \quad (2.1)$$

где  $f$  – частота звука, Гц;

$h$  – высота экрана, м;

$l$  – длина экрана, м;

$a$  – расстояние от экрана до источника шума, м;

$b$  – расстояние от экрана до рабочего места, м;

2. По расчетному значению  $k$  определяют эффективность экрана  $\Delta L_{\Sigma}$  (табл. 2.1).

3. Определяют уровни звукового давления на рабочем месте  $L_{p.m}$

после установки акустического экрана и сравнивают с допустимыми [9]:

$$\Delta L_{\text{р.м}} = \Delta L - \Delta L_{\text{э}} \quad (2.2)$$

Таблица 2.1

**Эффективность экрана в зависимости от коэффициента  $k$**

| $k$                           | 0 | 0,5 | 1  | 1,5  | 2  | 3  | 4  | 5  | 7  | 10 |
|-------------------------------|---|-----|----|------|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta L_{\text{э}},$<br>дБА | 5 | 8   | 11 | 13,5 | 15 | 18 | 20 | 22 | 25 | 30 |

4 Делают вывод:

а) если  $L_{\text{р.м}} < L_{\text{доп}}$ , параметры акустического экрана для снижения уровня звукового давления выбраны верно.

б) если  $L_{\text{р.м}} > L_{\text{доп}}$ , необходимо изменить параметры и повторить расчет.

Следует помнить, что экраны применяют в случае превышения допустимых значений уровня шума на рабочих местах не менее чем на 10 дБ и не более чем на 20 дБ хотя бы на одной из среднегеометрических частот.

*Пример.* Уровни звукового давления  $\Delta L$ , создаваемые источником шума на частотах  $f_1 = 8000$  Гц и  $f_2 = 4000$  Гц равны 81 и 84 дБ, допустимые уровни звукового давления 69 и 71 дБ соответственно.

Определить эффективность применения акустического экрана с размерами  $h \times l = 1 \times 1,5$  м, если экран установлен на расстоянии  $a = 0,5$  м от источника шума, а расстояние от экрана до рабочего места  $b = 1,5$  м.

*Решение.* 1. По формуле (3.1) определяем коэффициент  $k$ , соответствующий частоте  $f_1 = 8000$  Гц:

$$k_{8000} = 0,05 \sqrt[4]{\frac{h^2(l/b)^2}{1 + 4(a/h)^2}} = 0,05 \cdot \sqrt[4]{8000} \sqrt[4]{\frac{1^2(1,5/1,5)^2}{1 + 4(0,5/1)^2}} = 3,76$$

2. Используя приведенные в табл.3.1 данные, методом интерполяции определяем эффективность экрана на частоте 8000 Гц:

$$\Delta L_{\text{э}8000} = 19,5 \text{ дБ}$$

3. Уровень звукового давления на рабочем месте:

$$\Delta L_{\text{р.м}8000} = \Delta L_{8000} - \Delta L_{\text{э}8000} = 81 - 19,5 = 61,5 \text{ дБ, что меньше } L_{\text{доп}8000} = 69 \text{ дБ.}$$

Аналогично получаем  $k_{4000} = 2,66$ ,  $\Delta L_{\text{э}4000} = 17$  дБ и  $\Delta L_{\text{р.м}4000} = 67$  дБ, что меньше  $L_{\text{доп}4000} = 71$  дБ.

4. Вывод: параметры акустического экрана для снижения уровня звукового давления выбраны верно.

### 3. Расчет звукопоглощающей облицовки

Значительное снижение шума обеспечивает облицовка внутренних поверхностей производственных помещений звукопоглощающими материалами (рис. 3.1,а). Наибольший акустический эффект от звукопоглощения наблюдается в зоне отраженного звука. В точках помещения, где преобладает прямой звук, эффективность звукопоглощения существенно снижается.

Применение звукопоглощающей облицовки целесообразно, когда в расчетных точках в зоне отраженного звука требуется снизить уровень звука не более чем на 10...12 дБ, а в расчетных точках на рабочих местах – на 4...5 дБ.

Количественной характеристикой эффективности поглощения звука является безразмерный коэффициент звукопоглощения  $\alpha$ , представляющий собой отношение разности энергий падающего и отраженного звука к энергии падающего звука. Для обычных строительных материалов величина  $\alpha$  сравнительно мала и не превышает 0,02...0,04 на средних и высоких частотах (табл. 3.3). Поэтому в производственных помещениях значения прямого и отраженного звуков зачастую соиз-

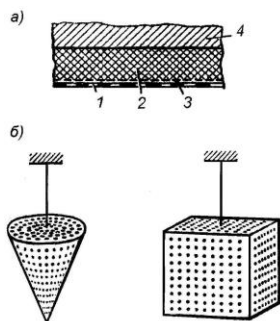


Рис. 3.1 Фрагмент звукопоглощающей облицовки (а) и штучные звукопоглотители (б):

1 – защитный перфорированный слой; 2 – звукопоглощающий материал; 3 – защитная стеклоткань; 4 – стена или потолок

меримы, и в результате многократного звукоотражения в помещениях создается так называемое «эхо» или «гул». Уменьшение «гулкости» помещения, т.е. снижение величины отраженного звука, достигается искусственным увеличением в 10...15 раз звукопоглощающей способности отражательных поверхностей помещения. Это достигается установкой на отражательных поверхностях помещений (потолке, стенах) специальных звукопоглощающих материалов и конструкций, эффективность звукопоглощения которых составляет 0,4...0,9.

Звукопоглощающую облицовку размещают на потолке и на верхних частях стен. Максимальное звукопоглощение достигается при облицовке не менее 60 % общей площади ограждающих поверхностей помещения (без учета площади окон).



Для снижения интенсивности отраженного звука в помещениях небольших объемов эффективно применение штучных звукопоглотителей разных конструкций, подвешиваемых к потолку (рис. 3.1, б).

*Примерное задание на проектирование:* в производственном помещении с повышенным уровнем шума обеспечить его снижение с помощью звукопоглощающей облицовки потолка и стен. Выбрать подходящий материал для звукопоглощающей облицовки и определить эффективность ее применения в данном помещении.

#### Методика расчета [5]

1. Определяют объем помещения:

$$V = a \cdot b \cdot h, \text{ м}^3 \quad (3.1)$$

где  $a, b, h$  - длина, ширина и высота помещения, м.

Затем рассчитывают площадь ограждающих поверхностей помещения:

$$S = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h), \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

2. Определяют постоянную акустически необработанного помещения при частоте 1000 Гц  $B_{1000}, \text{ м}^2$ , в зависимости от объема помещения  $V$  из соотношений, представленных в табл.3.1, либо по графической зависимости (рис. 3.2):

$$B_{1000} = V/10, \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

Таблица 3.1

#### Соотношения для определения постоянной помещения $B_{1000}$

| Характер помещения  | $B_{1000}, \text{ м}^2$ |
|---|-------------------------|
| С небольшой численностью людей  | $V/20$                  |
| С жесткой мебелью и большой численностью людей или с небольшой численностью людей и мягкой мебелью (лаборатории, деревообрабатывающие и ткацкие цеха, кабинеты и т. п.) | $V/10$                  |
| С большой численностью людей и мягкой мебелью (залы конструкторских бюро, учебные аудитории, комнаты управления, жилые помещения и т. п.)                               | $V/6$                   |
| Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен   | $V/1,5$                 |

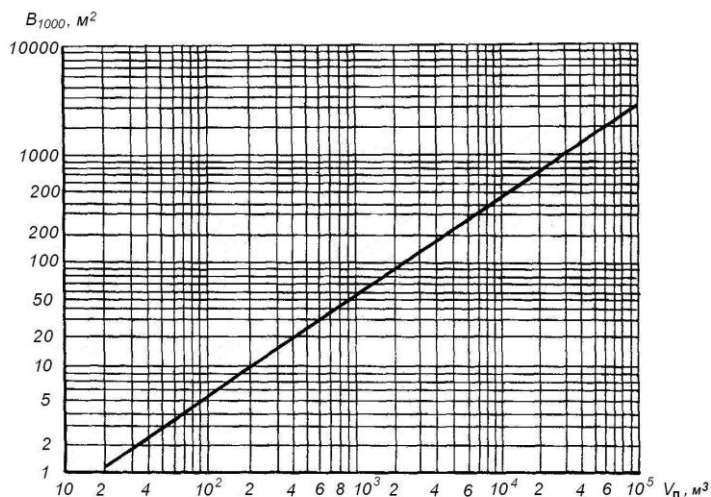


Рис. 3.2 Зависимость постоянной помещения  $B_{1000}$  на частоте 1000 Гц от объема помещения ( $V_n$ )

3. Определяют частотный множитель  $\mu$  (по табл. 3.2) и рассчитывают постоянную акустически необработанного помещения в октавных полосах:

$$B = B_{1000} \mu, \quad (3.4)$$

Таблица 3.2

**Частотный множитель  $\mu$  для помещений различных объемов**

| Объем помещения, $\text{м}^3$ | Значения $\mu$ на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
|                               | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Менее 200                     | 0,80   | 0,75 | 0,70 | 0,80 | 1    | 1,4  | 1,8  | 2,5  |
| 200...1000                    | 0,65   | 0,62 | 0,64 | 0,75 | 1    | 1,5  | 2,4  | 4,2  |
| Более 1000                    | 0,50   | 0,50 | 0,55 | 0,70 | 1    | 1,6  | 3,0  | 6,0  |

4. По найденной постоянной помещения  $B$  для каждой октавной полосы вычисляют эквивалентную площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ :

$$A = \frac{B \cdot S}{B + S}, \quad (3.5)$$

где  $S$  – общая площадь ограждающих поверхностей помещения,  $\text{м}^2$ .

5. Определяют границу зоны отраженного звука по величине предельного радиуса  $r_{\text{пр}}$ , т. е. расстояния от источника шума, на котором уровень звукового давления отраженного звука равен уровню звукового давления прямого звука, излучаемого данным источником. Когда в помещении находится  $n$  одинаковых источников шума:

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{B_{8000} / n}, \quad (3.6)$$

где  $B_{8000}$  – постоянная помещения на частоте 8000 Гц:

$$B_{8000} = B_{1000} \cdot \mu_{8000}.$$

6. Выбирают звукопоглощающий материал, который будет использован для облицовки, и определяют по справочным данным его коэффициенты звукопоглощения (табл. 3.3).

7. Вычисляют максимальное снижение уровня звукового давления, дБ, в каждой октавной полосе при использовании звукопоглощающего покрытия в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука:

$$\Delta L = 10 \lg(B'/B), \quad (3.7)$$

где  $B'$  – постоянная помещения после установки в нем звукопоглощающих конструкций,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле:

$$B' = (A_1 + \Delta A) / (1 - \alpha_1), \quad (3.8)$$

где  $A_1$  – эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями без звукопоглощающей облицовки,  $\text{м}^2$ ,

$$A_1 = \alpha (S - S_o); \quad (3.9)$$

$\Delta A$  – суммарная дополнительная площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки:

$$\alpha = B / (B + S); \quad (3.10)$$

$\alpha_1$  – средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения:

$$\alpha_1 = (A_1 + \Delta A) / S. \quad (3.11)$$

Суммарная дополнительная площадь звукопоглощения от конструкций звукопоглощающей облицовки или штучных звукопоглотителей:

$$\Delta A = \alpha_0 S_0 = \alpha_0 A_{\text{шт}} n, \quad (3.12)$$

- где  $\alpha_0$  – коэффициент звукопоглощения конструкции облицовки (табл. 3.3);  
 $S_0$  – суммарная площадь облицованных поверхностей, м<sup>2</sup>;  
 $A_{\text{шт}}$  – площадь звукопоглощения одного штучного звукопоглотителя, м<sup>2</sup>;  
 $n$  – число штучных поглотителей.

Для расчета  $\Delta L$  определяют:

- средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки по формуле (3.10) для каждой октавной полосы:

$$\alpha_{63} = B_{63} / (B_{63} + S);$$

- эквивалентную площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой, по формуле (3.11):

$$A_{l63} = \alpha_{63} (S - S_0),$$

где  $S_0$  – площадь облицованных поверхностей при полной облицовке стен и потолка  $S_0 = a \cdot b$ ;

- суммарную дополнительную площадь звукопоглощения от конструкции звукопоглощающей облицовки по формуле (3.12):

$$\Delta A = \alpha_0 S_0,$$

где  $\alpha_0$  – коэффициент звукопоглощения в каждой октавной полосе выбранного для облицовки материала (табл. 3.3);

- средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения в каждой октавной полосе (3.11):

$$\alpha_1 = (A_1 + \Delta A) / S$$

- постоянную помещения после его облицовки звукопоглощающими материалами (формула 3.8):

$$B' = (A_1 + \Delta A) / (1 - \alpha_1).$$

Далее находят максимальное снижение уровня звукового давления в каждой октавной полосе (3.7):

$$\Delta L = 10 \lg(B' / B).$$

8. Вычисляют достигнутые уровни звукового давления:

$$L_{\text{дос}} = L_{\text{сущ}} - \Delta L \quad (3.13)$$

Результаты расчета вносят в таблицу 3.4.

Таблица 3.3

**Средние коэффициенты звукопоглощения  
различных материалов,  $\alpha_0$  [6]**

| Материал, конструкция  | Значения $\alpha_0$ , при средних геометрических частотах, Гц |      |      |      |      |      |      |      |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 63  | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Бетон  | 0,01  | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Деревянная обшивка   | 0,1   | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,11 |
| Маты из стекловолокна (ВТУ 965-3528-58) толщиной 50 мм   | 0,13  | 0,13 | 0,32 | 0,64 | 0,62 | 0,59 | 0,59 | 0,59 |
| Перфорированные панели размером 25×25 см и толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри | 0,21  | 0,52 | 0,54 | 0,54 | 0,5  | 0,41 | 0,33 | 0,32 |
| Поролон  | 0,2   | 0,2  | 0,22 | 0,3  | 0,75 | 0,77 | 0,71 | 0,6  |
| Плиты перлитовые толщиной 30 мм  | 0,15  | 0,15 | 0,68 | 0,79 | 0,61 | 0,6  | 0,63 | 0,63 |
| Плиты пензолитовые толщиной 50 мм, длиной 30 мм  | 0,52  | 0,52 | 0,65 | 0,5  | 0,48 | 0,5  | 0,59 | 0,59 |

Таблица 3.4

**Уровни шума на рабочих местах**

| Уровень шума | Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах частот, Гц |     |     |     |      |      |      |      |
|--------------|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|              | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Допустимый   |   |     |     |     |      |      |      |      |
| Достигнутый  |   |     |     |     |      |      |      |      |

*Пример.* В лаборатории с размерами помещения  $a = 12$  м,  $b = 6$  м,  $h = 3$  м, в которой нет окон, установлены четыре одинаковые мельницы, при работе которых создаются следующие уровни звукового давления в октавных полосах частот:  $L_{63} = 74$  дБ;  $L_{125} = 78$  дБ;  $L_{250} = 81$  дБ;  $L_{500} = 75$  дБ;  $L_{1000} = 72$  дБ;  $L_{2000} = 69$  дБ;  $L_{4000} = 67$  дБ и  $L_{8000} = 63$  дБ. Согласно ГОСТ 12.1.003-83 [24] допустимые уровни шума на рабочих местах лаборатории  $L_{63} = 91$  дБ;  $L_{125} = 83$  дБ;  $L_{250} = 77$  дБ;  $L_{500} = 73$  дБ;  $L_{1000} = 70$  дБ;  $L_{2000} = 68$  дБ;  $L_{4000} = 66$  дБ и  $L_{8000} = 64$  дБ. Необходимо выбрать подходящий материал для звукопоглощающей облицовки и определить эффективность ее применения в данном помещении.

*Решение.* 1. Определяем объем помещения:

$$V = a \cdot b \cdot h = 12 \cdot 6 \cdot 3 = 216 \text{ м}^3$$

Затем рассчитываем площадь ограждающих поверхностей:

$$S = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h) = 2(12 \cdot 6 + 12 \cdot 3 + 6 \cdot 3) = 252 \text{ м}^2.$$

2. Определяем постоянную акустически необработанного помещения при частоте 1000 Гц  $B_{1000}$ ,  $\text{м}^2$ , в зависимости от объема помещения  $V$  из соотношений, представленных в табл. 3.1:

$$B_{1000} = V/10 = 21,6 \text{ м}^2$$

3. Определяем частотный множитель  $\mu$  (по табл. 3.2 и рассчитываем постоянную акустически необработанного помещения в октавных полосах:

$$B = B_{1000} \mu$$

Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

$$B_{63} = B_{1000} \mu = 0,65 \cdot 21,6 = 14,04 \text{ м}^2$$

Аналогично получим:  $B_{125} = 13,39 \text{ м}^2$ ;  $B_{250} = 13,82 \text{ м}^2$ ;  $B_{500} = 16,2 \text{ м}^2$ ;  $B_{1000} = 21,6 \text{ м}^2$ ;  $B_{2000} = 32,4 \text{ м}^2$ ;  $B_{4000} = 51,84 \text{ м}^2$ ;  $B_{8000} = 90,72 \text{ м}^2$ .

4. По найденной постоянной помещения  $B$  для каждой октавной полосы вычисляем эквивалентную площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ :

$$A_{63} = \frac{B \cdot S}{B + S} = \frac{14,04 \cdot 252}{14,04 + 252} = 13,3 \text{ м}^2$$

где  $S$  – общая площадь ограждающих поверхностей помещения,  $\text{м}^2$ .

Аналогично получим для остальных октавных полос  $A_{125} = 12,7 \text{ м}^2$ ;  $A_{250} = 13,1 \text{ м}^2$ ;  $A_{500} = 15,2 \text{ м}^2$ ;  $A_{1000} = 19,9 \text{ м}^2$ ;  $A_{2000} = 28,7 \text{ м}^2$ ;  $A_{4000} = 43,0 \text{ м}^2$ ;  $A_{8000} = 66,7 \text{ м}^2$ .

5. Определяем границу зоны отраженного звука по величине предельного радиуса  $r_{\text{пр}}$ :

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{B_{8000} / n} = 0,2 \sqrt{90,72 / 4} = 0,95 \text{ м},$$

где  $n = 4$  – число одинаковых источников шума в помещении.

6. Выбираем звукопоглощающий материал, который будет использован для облицовки (табл. 3.3), и выписываем его характеристики.

В качестве звукопоглощающего материала предполагается использование перфорированных панелей размером 25х25 см толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм.

7. Для определения максимального снижения уровня звукового давления, дБ, в каждой октавной полосе при использовании звукопоглощающего покрытия в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука, находим следующие величины.

- средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки рассчитываем по формуле (3.10). Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

$$\alpha_{63} = B_{63} / (B_{63} + S) = 14,04 / (14,04 + 252) = 0,053.$$

Выполнив расчеты для остальных октавных полос, получим:  $\alpha_{125} = 0,05$ ;  $\alpha_{250} = 0,052$ ;  $\alpha_{500} = 0,06$ ;  $\alpha_{1000} = 0,079$ ;  $\alpha_{2000} = 0,114$ ;  $\alpha_{4000} = 0,171$ ,  $\alpha_{8000} = 0,265$ .

- Эквивалентную площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой, по формуле (3.11). Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

$$A_{I\ 63} = \alpha_{63} (S - S_0) = 0,053(252 - 180) = 3,8 \text{ м}^2,$$

где  $S_0 = 180 \text{ м}^2$  – площадь облицованных поверхностей при полной облицовке стен и потолка.

Для остальных октавных полос аналогично получим:  $A_{I\ 125} = 3,6 \text{ м}^2$ ;

$A_{I\ 250} = 3,7 \text{ м}^2$ ;  $A_{I\ 500} = 4,3 \text{ м}^2$ ;  $A_{I\ 1000} = 5,7 \text{ м}^2$ ;  $A_{I\ 2000} = 8,2 \text{ м}^2$ ;  $A_{I\ 4000} = 12,3 \text{ м}^2$ ;  $A_{I\ 8000} = 19,1 \text{ м}^2$ .

- определяем суммарную дополнительную площадь звукопоглощения от конструкции звукопоглощающей облицовки по формуле (3.12). Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

$$\Delta A_{63} = \alpha_{0\ 63} S_0 = 0,21 \cdot 180 = 37,8 \text{ м}^2,$$

где  $\alpha_{0\ 63} = 0,21$  - коэффициент звукопоглощения перфорированных панелей толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри на частоте 63 Гц (значения  $\alpha_0$  для остальных октавных полос указаны в табл. 3.3).

Аналогично получим для остальных октавных полос:  $\Delta A_{125} = 93,6 \text{ м}^2$ ;  $\Delta A_{250} = 97,2 \text{ м}^2$ ;  $\Delta A_{500} = 90 \text{ м}^2$ ;  $\Delta A_{1000} = 73,8 \text{ м}^2$ ;  $\Delta A_{2000} = 59,4 \text{ м}^2$ ;  $\Delta A_{4000} = 57,6 \text{ м}^2$ .

- средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц, формула (4.10):  $\alpha_1\ 63 = (A_{I\ 63} + \Delta A_{63}) / S = (3,8 + 37,8) / 252 = 0,165$ . Аналогично рассчитываем  $\alpha_1$  для остальных октавных полос:

$\alpha_{1\ 125} = 0,386$ ;  $\alpha_{1\ 250} = 0,4$ ;  $\alpha_{1\ 500} = 0,403$ ;  $\alpha_{1\ 1000} = 0,38$ ;  $\alpha_{1\ 2000} = 0,325$ ;  $\alpha_{1\ 4000} = 0,285$  и  $\alpha_{1\ 8000} = 0,304$ .

- постоянную помещения после его облицовки звукопоглощающими материалами для октавной полосы со средней геометрической частотой 63 Гц определяем по формуле (3.8):  $B'_{63} = (A_{1\ 63} + \Delta A_{63}) / (1 - \alpha_{1\ 63}) = (3,8 + 37,8) / (1 - 0,165) = 49,8\ \text{м}^2$ .

Аналогично рассчитываем  $B'$  для остальных октавных полос:  $B'_{125} = 158,3\ \text{м}^2$ ;  $B'_{250} = 168,2\ \text{м}^2$ ;  $B'_{500} = 170\ \text{м}^2$ ;  $B'_{1000} = 154,4\ \text{м}^2$ ;  $B'_{2000} = 121,5\ \text{м}^2$ ;  $B'_{4000} = 100,3\ \text{м}^2$ ;  $B'_{8000} = 110,2\ \text{м}^2$ .

Тогда максимальное снижение уровня звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц при использовании звукопоглощающих покрытий в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука (на расстоянии от источников шума, превышающем 0,95 м), формула (3.7):

$$\Delta L_{63} = 10 \lg(B'_{63}/B_{63}) = 10 \lg(49,8/14,04) = 5,5\ \text{дБ}.$$

Аналогично получим для остальных октавных полос:  $\Delta L_{125} = 10,7\ \text{дБ}$ ;  $\Delta L_{250} = 10,9\ \text{дБ}$ ;  $\Delta L_{500} = 10,2\ \text{дБ}$ ;  $\Delta L_{1000} = 8,5\ \text{дБ}$ ;  $\Delta L_{2000} = 5,7\ \text{дБ}$ ;  $\Delta L_{4000} = 2,8\ \text{дБ}$ ;  $\Delta L_{8000} = 0,8\ \text{дБ}$ .

8. Вычисляем достигнутые в результате применения облицовки лаборатории звукопоглощающим материалом уровни звукового давления (формула 3.13):

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{сущ}} - \Delta L$$

Для частоты 63 Гц  $L_{\text{доп}} = 74 - 5,5 = 68,5\ \text{дБ}$ .

Результаты расчета вносим в таблицу:

Таблица 3.5

### Уровни шума на рабочих местах лаборатории

| Уровень шума | Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах частот, Гц |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 63  | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Допустимый   | 91  | 83   | 77   | 73   | 70   | 68   | 66   | 64   |
| Достигнутый  | 68,5  | 67,3 | 70,1 | 64,8 | 63,5 | 63,3 | 64,2 | 62,2 |

Вывод: как видно из табл. 3.5, в результате применения в качестве звукопоглощающей облицовки перфорированных панелей толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри на всех октавных частотах произошло снижение уровня шума, что свидетельствует о ее эффективности.



#### 4. Расчет и подбор звукоизолирующей стены с дверью

Одним из способов защиты работников от воздействия повышенного уровня шума является установка звукоизолирующих перегородок или стен.

*Примерное задание на проектирование:* спроектировать стену с дверью, отгораживающую помещение, в котором установлены две дробилки. Размеры шумного помещения 24х18х6 м. Размеры изолируемого помещения 24х10х6 м. Суммарный уровень звуковой мощности, излучаемый установленными дробилками, представлен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Уровень звуковой мощности в шумном помещении**

| Среднегеометрическая частота, Гц | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|----------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| $L_{p \text{ сум}}$ , дБ         | 98 | 102 | 113 | 100 | 101  | 84   | 83   | 74   |

Площадь стены  $S_1 = 24 \times 6 = 144 \text{ м}^2$ .

Площадь двери  $S_2 = 4 \text{ м}^2$ .

В изолируемом помещении будут расположены кабины дистанционного управления.

Звукоизолирующую способность отдельных элементов ограждения для случая проникновения шума из помещения в смежное помещение рассчитывают следующим образом:

$$R_{\text{тр}} = L_{p \text{ сум}} - L_{p \text{ доп}} - 10 \cdot \lg B_{\text{ш}} - 10 \cdot \lg B_{\text{и}} + 10 \cdot \lg S_i + 6 + 10 \cdot \lg n, \quad (4.1)$$

где  $L_{p \text{ сум}}$  – суммарный октавный уровень звуковой мощности, излучаемый оборудованием в шумном помещении.

$L_{p \text{ доп}}$  – допустимый уровень звукового давления для изолируемого помещения, который подбирается по ГОСТ 12.1.003-83 (табл. 4.2);

$B_{\text{ш}}$  и  $B_{\text{и}}$  – постоянные шумного и изолируемого помещений в каждой октавной полосе частот; определяются по формуле:

$$B = B_{1000} \cdot \mu \quad (4.2)$$

где  $B_{1000}$  – постоянная помещения при частоте 1000 Гц, определяется в зависимости от объема помещения по таблице 3.1 или графику на рис. 3.2.

$\mu$  – частотный множитель (табл. 3.2)

$S_i$  – площади элементов ограждения (в данном случае – стены и двери),  $m^2$ .

$n$  – кол-во элементов ограждения (в данном примере  $n = 2$  – стена и дверь).

Исходные, справочные данные, промежуточные и окончательные результаты расчета сводим в табл. 4.3.

По результатам расчета на основании требуемой звукоизолирующей способности подбираются соответствующие элементы ограждения. (табл. 4.4, 4.5).

### Методика и пример расчета [6]

1. Рассчитываем объем шумного помещения и определяем по справочным данным постоянную помещения при частоте 1000 Гц (рис. 3.2):

$$\begin{aligned} V_{\text{шп}} &= 2592 \text{ м}^3 \\ B_{\text{ш}1000} &= 100 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

2. Определяем частотный множитель  $\mu$  для шумного помещения (табл. 3.2) и вносим в таблицу.

3. Определяем постоянную шумного помещения при частоте 63 Гц:

$$B_{\text{ш}63} = B_{\text{ш}1000} \cdot \mu = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ м}^2$$

Аналогично рассчитываем для остальных октавных полос и вносим в таблицу 4.3.

4. Рассчитываем объем изолируемого помещения и определяем по справочным данным постоянную помещения при частоте 1000 Гц (рис. 3.2):

$$V_{\text{ип}} = 1440 \text{ м}^3; B_{\text{и}1000} = 80 \text{ м}^2$$

5. Определяем частотный множитель  $\mu$  для изолируемого помещения (табл. 3.2) и вносим в таблицу.

Таблица 4.2

**Допустимые уровни звукового давления  
на рабочих местах (ГОСТ 12.1.003–83)**

| Рабочие места  | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |     |     |     |      |      |      |      | Эквивалентные уровни звукового давления, дБА |
|--|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
|  | 63   | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |  |
| Производственные помещения   |  |     |     |     |      |      |      |      |  |
| 1. Рабочие места в помещениях – дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных                              | 71   | 61  | 54  | 49  | 45   | 42   | 40   | 38   | 50   |
| 2. . Рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, лабораториях  | 79   | 70  | 68  | 58  | 55   | 52   | 50   | 49   | 60   |
| 3. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабины наблюдения и дистанционного управления: с речевой связью по телефону, в помещениях мастеров                       | 83   | 74  | 68  | 63  | 60   | 57   | 55   | 54   | 65   |
| 4. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону  | 91   | 83  | 77  | 73  | 70   | 68   | 66   | 64   | 75   |
| 5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп.1-4) на постоянных рабочих местах и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия | 95   | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   | 80   |

6. Определяем постоянную изолируемого помещения при частоте 63 Гц:

$$B_{и63} = B_{и1000} \cdot \mu = 80 - 0,5 = 40 \text{ м}^2$$

Аналогично определяем  $B_{и}$  для остальных октавных полос и вносим в табл. 4.3.

Таблица 4.3

**К расчету звукоизолирующей способности ограждения**

| №<br>п/п | Расчетный<br>показатель  | Среднегеометрическая частота, Гц |      |      |      |      |      |       |       |
|----------|--|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|          |  | 63                               | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000  | 8000  |
| 1        | $B_{ш1000} \left( V_{шн} = 2592 \text{ м}^3 \right)$<br>(рис. 7) | —                                | —    | —    | —    | 100  | —    | —     | —     |
| 2        | Частотный множитель<br>$\mu$ (табл.17)                           | 0,5                              | 0,5  | 0,55 | 0,7  | 1,0  | 1,6  | 3,0   | 6,0   |
| 3        | $B_{ш} = B_{ш1000} * \mu$  | 50                               | 50   | 55   | 70   | 100  | 160  | 300   | 600   |
| 4        | $B_{и1000} \left( V_{иш} = 1440 \text{ м}^3 \right)$<br>(рис. 7) | —                                | —    | —    | —    | 80   | —    | —     | —     |
| 5        | $\mu$ (табл. 17)   | 0,5                              | 0,5  | 0,55 | 0,7  | 1,0  | 1,6  | 3,0   | 6,0   |
| 6        | $B_{и} = B_{и1000} * \mu$  | 40                               | 40   | 44   | 56   | 80   | 128  | 240   | 480   |
| 7        | $L_{p \text{ сум}}$  | 98                               | 102  | 113  | 100  | 101  | 84   | 83    | 74    |
| 8        | $L_{p \text{ доп}}$  | 83                               | 74   | 68   | 63   | 60   | 57   | 55    | 54    |
| 9        | $10\lg B_{ш}$  | 17                               | 17   | 17,4 | 18,4 | 20   | 22   | 24,8  | 27,8  |
| 10       | $10\lg B_{и}$  | 16                               | 16   | 16,4 | 17,5 | 19   | 21   | 23,8  | 26,8  |
| 11       | $10\lg n$  | 3                                | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3     | 3     |
| 12       | Сумма позиций<br>$\Delta = (7)-(8)-(9)-(10)+(11)$                | - 15                             | -2   | 14,2 | 4,1  | 5    | -13  | -17,6 | -31,6 |
| 13       | $10\lg S_1 \quad \left( S_1=144 \text{ м}^2 \right)$             | 21,5                             | 21,5 | 21,5 | 21,5 | 21,5 | 21,5 | 21,5  | 21,5  |
| 14       | $10\lg S_2 \quad \left( S_2=4 \text{ м}^2 \right)$               | 6                                | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6     | 6     |
| 15       | $R_{тp1} = \Delta + 10 \cdot \lg S_1 + 6$                        | 12,5                             | 25,5 | 41,7 | 31,6 | 32,5 | 14,5 | 9,9   | -4,1  |
| 16       | $R_{тp2} = \Delta + 10 \cdot \lg S_2 + 6$                        | -3                               | 10   | 26,2 | 16,1 | 17   | -1   | -5,6  | -19,6 |

7. Определяем суммарный уровень звукового давления в помещении  $L_{p \text{ сум}}$  замером или расчетом, зная шумовые характеристики машин. В данном примере указанные характеристики приведены в задании (табл. 4.1).

8. Определяем по ГОСТу 12.1.003-83 (табл. 4.2)  $L_{\text{рдоп}}$  и вносим в таблицу.

9. Вычисляем  $10\lg B_{\text{ш}}$ . Для частоты 63 Гц:

$$10\lg B_{\text{ш}63} = 10\lg 50 = 17$$

Аналогично рассчитываем для остальных октавных полос частот и вносим в таблицу.

10. Вычисляем величину  $10\lg B_{\text{и}}$ . Для частоты 63 Гц  $10\lg B_{\text{и}} = 16$

Аналогично вычисляем для остальных октавных полос.

11. Рассчитываем  $10\lg n$ :

$$10\lg n = 10\lg 2 = 3$$

12. Вычисляем сумму позиций  $\Delta = (7) - (8) - (9) - (10) + (11)$ .

Для частоты 63 Гц:

$$\Delta = 98 - 83 - 17 - 16 + 3 = -15.$$

Аналогично рассчитываем для остальных октавных полос.

13. Определяем величину  $10\lg S_1 = 21,5$

14. Определяем величину  $10\lg S_2 = 6$

15. Рассчитываем требуемую звукоизолирующую способность стены. На частоте 63 Гц:

$$R_{\text{тр}1} = \Delta + 10\lg S_1 + 6 = -15 + 21,5 + 6 = 12,5 \text{ дБ}$$

Аналогично рассчитываем  $R_{\text{тр}1}$  для остальных октавных полос частот.

16. Рассчитываем требуемую звукоизолирующую способность двери. На частоте 63 Гц:

$$R_{\text{тр}2} = \Delta + 10\lg S_2 + 6 = -15 + 6 + 6 = -3$$

17. По результатам расчета на основе  $R_{\text{тр}1}$  и  $R_{\text{тр}2}$  подбираем соответствующие элементы ограждения (табл. 4.4, 4.5). При этом величины требуемой звукоизолирующей способности со знаком «-» не принимаются во внимание.

Стена: кирпичная кладка толщиной в один кирпич, оштукатуренная с двух сторон.

Дверь: глухая щитовая дверь марки ДБ-9 толщиной 40 мм, облицованная с двух сторон фанерой толщиной 4 мм, с уплотняющими прокладками из резины.

Таблица 4.4

**Звукоизолирующая способность (дБ) стен и перегородок  
акустически однослойных конструкций [6]**

| Материал, конструкция                              | Толщина, мм | Средняя поверхностная плотность, кг/м <sup>2</sup> | Среднегеометрическая частота, Гц |      |     |      |      |      |      |      |
|--|-------------|--|----------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|
|  |             |  | 63                               | 125  | 250 | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Кирпичная кладка, оштукатуренная с двух сторон     | 0,5 кирпича | 220  | 32                               | 39   | 40  | 42   | 48   | 54   | 60   | 60   |
|  | 1 кирпич    | 420  | 36                               | 41   | 44  | 51   | 58   | 64   | 65   | 65   |
|  | 1,5 кирпича | 520  | 41                               | 44   | 48  | 55   | 61   | 65   | 65   | 65   |
|  | 2 кирпича   | 820  | 45                               | 45   | 52  | 59   | 65   | 70   | 70   | 70   |
|  | 2,5 кирпича | 1000   | 45                               | 47   | 55  | 60   | 67   | 70   | 70   | 70   |
| Железобетонная плита                               | 40          | 100  | –                                | 32   | 36  | 35   | 38   | 47   | 53   | –    |
|  | 50          | 125  | 28                               | 34   | 35  | 35   | 41   | 48   | 55   | 55   |
|  | 100         | 250  | 34                               | 40   | 40  | 44   | 50   | 55   | 60   | 60   |
|  | 160         | 400  | –                                | 43   | 47  | 51   | 60   | 63   | –    | –    |
|  | 200         | 500  | 40                               | 42   | 44  | 51   | 59   | 65   | 65   | 65   |
|  | 300         | 750  | 44                               | 44,5 | 50  | 58   | 65   | 69   | 69   | 69   |
|  | 400         | 1000   | 45                               | 47,5 | 55  | 61   | 67,5 | 70   | 70   | 70   |
|  | 800         | 2000   | 47,5                             | 55   | 61  | 67,5 | 70   | 70   | 70   | 70   |
| Гипсолитовая плита                                 | 80          | 115  | –                                | 28   | 33  | 37   | 39   | 44   | 44   | 42   |
|  | 95          | 135  | –                                | 32   | 37  | 37   | 42   | 48   | 53   | –    |
| Керамзитобетонная плита                            | 0           | 100  | –                                | 33   | 34  | 39   | 47   | 52   | 54   | –    |
|  | 120         | 150  | –                                | 33   | 37  | 39   | 47   | 54   | –    | –    |
| Газобетонная плита                                 | 240         | 270  | –                                | 39   | 42  | 57   | 56   | 54   | 52   | –    |
| Пемзобетонная панель, оштукатуренная с двух сторон | 130         | 225  | –                                | 37   | 34  | 46   | 50   | 60   | 65   | –    |
| Шлакобетонная панель                               | 250         | 400  | –                                | 30   | 45  | 52   | 59   | 64   | 64   | –    |
|  | 140         | 250  | –                                | –    | 41  | 45   | 49   | 51   | 51   | –    |
| Шлакоблоки, оштукатуренные с двух сторон           | 220         | 360  | –                                | 42   | 42  | 48   | 54   | 60   | 63   | –    |

Таблица 4.5

**Звукоизолирующая способность (дБ) дверей [6]**

| Конструкция  | Условия прилегания<br>двери по периметру            | Среднегеометрическая частота, Гц |     |     |     |      |      |      |      |
|--|---|----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|  |   | 63                               | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Обыкновенная фи-<br>ленчатая дверь   | Без уплотняющих<br>прокладок                        | 7                                | 12  | 14  | 16  | 22   | 22   | 20   | –    |
|  | С уплотняющими<br>прокладками из<br>резины          | 12                               | 18  | 19  | 23  | 30   | 33   | 30   | –    |
| Глухая щитовая<br>дверь марки ДБ-9<br>толщиной 40 мм,<br>облицованная с двух<br>сторон фанерой<br>толщиной 4 мм                              | Без уплотняющих<br>прокладок                        | 17                               | 22  | 23  | 24  | 24   | 24   | 23   | 2    |
|  | С уплотняющими<br>прокладками из<br>резины          | 22                               | 27  | 27  | 32  | 35   | 34   | 35   | –    |
| Типовая дверь<br>П-327   | Без уплотняющих<br>прокладок                        | –                                | –   | 23  | 31  | 33   | 34   | 36   | 44   |
|  | С уплотняющими<br>прокладками из<br>пористой резины | –                                | –   | 30  | 33  | 35   | 39   | 41   | 42   |
| Щитовая дверь из<br>твёрдых древесно-<br>волоконистых плит<br>толщиной 4-6 мм с<br>воздушным зазором<br>50 мм и заполнени-<br>ем стекловатой | Без уплотняющих<br>прокладок                        | –                                | 25  | 26  | 30  | 31   | 28   | 29   | –    |
|  | С уплотняющими<br>прокладками из<br>пористой резины | –                                | 28  | 30  | 33  | 36   | 32   | 30   | –    |
| То же, с заполнени-<br>ем минеральным<br>волокном  | Без уплотняющих<br>прокладок                        | –                                | 24  | 24  | 28  | 27   | 25   | 24   | –    |
|  | С уплотняющими<br>прокладками из<br>пористой резины | –                                | 28  | 28  | 32  | 34   | 32   | 32   | –    |

## 5. Расчет виброизолирующих оснований

Виброизоляторы применяют для уменьшения вибраций, передающихся на несущую конструкцию, и снижения благодаря этому уровня шума в помещении. Для агрегатов, имеющих частоту вращения менее 1800 об/мин, рекомендуется применять пружинные виброизоляторы (рис. 5.1, *а*); при частоте вращения агрегатов более 1800 об/мин – резиновые (рис. 5, *б*).

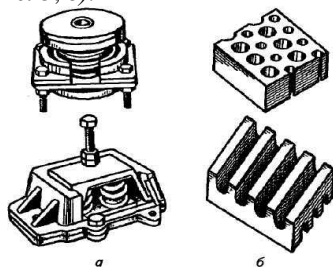


Рис. 5.1 Виброизолирующие опоры:  
*а* – пружинные; *б* – резиновые

Для предотвращения передачи высокочастотных вибраций дополнительно рекомендуется применять резиновые прокладки толщиной 10...20 мм, располагая их между пружинными виброизоляторами и несущей конструкцией.

Виброизоляторы размещают в четырех точках по углам прямоугольника. При необходимости устанавливают дополнительные виброизоляторы симметрично относительно центра тяжести установки. Дополнительные виброизоляторы рекомендуется располагать в центральных точках прямых, соединяющих два угловых виброизолятора. Допускается применять кустовые виброизоляторы (от двух до шести в кусте). Нормирование вибрации осуществляется по ГОСТ 12.1.012–04 и СН 2.2.4/2.1.8.566–96.

*Примерное задание на проектирование:* выполнить проект виброизолирующего основания.

Методика расчета пружинных виброизоляторов [5]

1. Определяют требуемую эффективность виброизоляции  $\Delta L_{\tau}$  (табл. 5.1).



Таблица 5.1

**Эффективность виброизоляции различного оборудования**

| Вид оборудования  | Значение $\Delta L_{\tau}$ , дБА |
|---|----------------------------------|
| Поршневые компрессоры мощностью, кВт:                   |                                  |
| до 15   | 17                               |
| от 20 до 60   | 20                               |
| от 75 до 150  | 26                               |
| Центробежные насосы                                     | 26                               |
| Автономные кондиционеры                                 | 20                               |
| Вентиляторы с частотой вращения, об/мин <sup>-1</sup> : |                                  |
| более 800   | 26                               |
| 500...800   | 20...26                          |
| 350...500   | 17...20                          |
| 200...350   | 11...17                          |

1. Далее находят расчетную частоту возбуждающей силы, Гц,

$$f_v = n_v / 60, \quad (5.1)$$

где  $n_v$  – частота вращения частей установки, об/мин.

Если в работающей установке существуют части, вращающиеся с различной частотой, то в качестве расчетной принимают наименьшую из них.

3. Отношение  $C$  расчетной частоты возбуждающей силы  $f_v$  к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний  $f_{\text{пд}}$  виброизолированной установки принимают в зависимости от требуемой эффективности виброизоляции  $\Delta L_{\tau}$ , из следующих значений (табл. 5.2):

Таблица 5.2

**Отношение расчетной частоты возбуждающей силы  
к предельно допустимой частоте собственных колебаний  
установки**

| Требуемая эффективность виброизоляции $\Delta L_{\tau}$ , дБА | 5    | 7,5 | 10 | 15  | 20  | 25  | 30  | 35 |
|---|------|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|
| $C = f_v / f_{\text{пд}}$                                     | 1,65 | 1,8 | 2  | 2,6 | 3,3 | 3,3 | 5,4 | 7  |

4. По выбранному значению параметра  $C$  определяем предельно допустимую частоту, Гц:

$$f_{\text{пл}} = f_{\text{в}}/C. \quad (5.2)$$

5. Требуемую общую массу, кг, виброизолированной установки рассчитывают по формуле:

$$m_{\text{тр}} = 2,5\varepsilon \cdot m_{\text{в}}/A_{\text{д}}, \quad (5.3)$$

где  $\varepsilon$  — эксцентриситет вращающихся частей, мм;  
 $m_{\text{в}}$  — масса вращающихся с частотой  $n_{\text{у}}$  частей установки, кг;  
 $A_{\text{д}}$  — максимально допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки, мм.

Если величины  $\varepsilon$  и  $A_{\text{д}}$  неизвестны, то, например, для вентиляционной установки можно приближенно принять  $\varepsilon_{\text{д}} = 0,2 \dots 0,4$  мм при динамической балансировке и  $\varepsilon_{\text{с}} = 1 \dots 1,5$  мм при статической балансировке. Максимальную допустимую амплитуду смещения  $A_{\text{д}}$  центра тяжести установки принимают из следующих значений:

Таблица 5.3

#### Максимальная допустимая амплитуда смещения $A_{\text{д}}$

| Частота вращения $n_{\text{у}}$ , об/мин | 300 | 400  | 500  | 600   | 700  | 900  | 1200 | 1500 | 3000 |
|--|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| $A_{\text{д}}$ , мм                      | 0,2 | 0,18 | 0,16 | 0,145 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,04 |

6. Далее вычисляют суммарную массу, кг, установки с рамой:

$$m_{\text{о}} = m_{\text{у}} + m_{\text{р}}, \quad (5.4)$$

где  $m_{\text{у}}$  — масса установки, кг;  $m_{\text{р}}$  — масса рамы, кг.

При этом должно соблюдаться условие:  $m_{\text{о}} \geq m_{\text{тр}}$ .

Если суммарная масса установки  $m_{\text{о}}$  (например, вентилятора с электродвигателем и рамой) меньше требуемой массы  $m_{\text{тр}}$ , то необходимо увеличить ее, частично или полностью заполнив внутренний объем рамы железобетоном или смонтировав установку на общей железобетонной плите.

7. Определяют статическую  $P_{\text{с}}$  и расчетную максимальную  $P_{\text{рmax}}$  нагрузки на одну пружину, Н:

где  $n_B$  – число виброизоляторов;

$x$  – число пружин в одном виброisolляторе.

$$P_c = \frac{9,81m_0}{n_B \cdot x}, \quad (5.5)$$

$$P_{p \max} = P_c + \frac{\pi^2 \cdot f_B^2 \cdot A_A \cdot P_c}{1635} = P_c + 0,006 f_B^2 \cdot A_A \cdot P_c, \quad (5.6)$$

8. Требуемую суммарную жесткость, Н/м, виброизоляторов в вертикальном направлении рассчитывают по формуле:

$$\Sigma K_B = 4\pi^2 \cdot f_{\text{пл}}^2 \cdot m_0 = 39,48 f_{\text{пл}}^2 \cdot m_0. \quad (5.7)$$

9. Требуемая жесткость, Н/м, одной пружины в продольном направлении:

$$K_{\text{тр}} = \frac{\Sigma K_B}{n_B \cdot x}. \quad (5.8)$$

10. Выбирают опорные пружины для виброизоляторов с соблюдением следующих условий:

$$P_{\text{т max}} \geq P_{\text{р max}} \quad (5.9)$$

$$K_{\text{т}} \leq K_{\text{тр}} \quad (5.10)$$

где  $P_{\text{т max}}$  – максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н (табл. 5.4);  $K_{\text{т}}$  – жесткость пружин в продольном направлении, Н/м (табл. 5.4).

11. Определяют уровень шума в помещении после установки оборудования на виброизолирующие опоры и сравнивают его с предельно допустимым. В случае, когда вибрирующая установка находится за стеной помещения, для расчета используют следующую формулу:

$$L_{\Phi} = L - \Delta L - (23 \cdot \lg Q - 9) \quad (5.11)$$

где  $Q$  – масса одного  $\text{м}^2$  стены, кг

Таблица 5.4

**Параметры типовых значений опорных пружин**

| Параметр   | Марка пружины |       |       |       |       |       |       |       |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | ДО-38         | ДО-39 | ДО-40 | ДО-41 | ДО-42 | ДО-43 | ДО-44 | ДО-45 |
| 1  | 2             | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| Максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н                                      | 120           | 220   | 340   | 550   | 960   | 1680  | 2430  | 3800  |
| Собственная частота вертикальных колебаний при максимальной рабочей нагрузке, Гц | 3             | 2,7   | 2,5   | 2,4   | 2,1   | 2,1   | 1,9   | 1,8   |
| Жесткость пружины в продольном направлении, Н/м                                  | 0,46          | 0,62  | 0,83  | 1,26  | 1,68  | 3,0   | 3,64  | 4,5   |
| Диаметр проволоки, мм  | 3             | 4     | 5     | 6     | 8     | 10    | 12    | 15    |
| Диаметр пружины, мм  | 30            | 40    | 50    | 54    | 72    | 80    | 96    | 120   |
| Высота пружины в ненагруженном состоянии, мм                                     | 65            | 84    | 100   | 114   | 152   | 171   | 220   | 275   |
| Число рабочих витков   | 6,5           | 6,5   | 6,5   | 6,5   | 6,5   | 6,5   | 6,5   | 6,5   |
| Полная высота пружины в ненагруженном состоянии, мм                              | 68            | 88    | 107   | 123   | 164   | 186   | 220   | 275   |
| Шаг ненагруженной пружины, мм  | 10            | 13    | 17    | 18    | 24    | 27    | 32    | 40    |

*Примерное задание на проектирование.* Определить уровень шума в помещении  $L_n$  после установки вентилятора на пружинные виброизоляторы. Допустимый уровень звукового давления  $L_{\text{доп}} = 60$  дБА. Установленный за пределами производственного помещения центробежный вентилятор серии Ц4-70 № 8 создает уровень звукового давления  $L = 104$  дБА. Частоты вращения колеса вентилятора и вала электродвигателя одинаковы: 960 об/мин. Масса вентилятора с электродвигателем и рамой  $m_0 = 376$  кг. Массу  $1 \text{ м}^2$  стены толщиной в половину кирпича, за которой находится установка, принять равной 208,5 кг. Эксцентриситет вращающихся частей вентилятора при его динамической балансировке равен  $\varepsilon = 0,2$  мм, масса вращающихся частей установки  $m_b = 78$  кг.

*Решение.*

1. Требуемая эффективность виброизоляции для вентилятора с частотой вращения более 800 об/мин  $\Delta L_r = 26$  дБА (табл. 5.2).

2. По формуле (5.1) найдем расчетную частоту возбуждающей силы:

$$f_b = n_y / 60 = 960 / 60 = 16 \text{ Гц.}$$

3. Определяем отношение  $C$  расчетной частоты возбуждающей силы  $f_b$ , к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний  $f_{\text{од}}$  виброизолированной установки методом интерполяции по табл. 5.2.

$$C = 4,44.$$

4. При этом значении параметра  $C$  по формуле (5.2) вычисляем предельно допустимую частоту:

$$f_{\text{пд}} = f_b / C = 16 / 4,44 = 3,6 \text{ Гц.}$$

5. По формуле (5.3) определяем требуемую общую массу виброизолированной установки:

$$m_{\text{тр}} = 2,5\varepsilon \cdot m_b / A_d = 2,5 \cdot 0,2 \cdot 78 / 0,106 = 367,9 \text{ кг}$$

Проверим соблюдение условия  $m_0 \geq m_{\text{тр}}$ . Так как  $376 \text{ кг} > 367,9 \text{ кг}$ , то условие выполняется.

6. Суммарную массу установки с рамой не вычисляем, т.к. она дана в условии:  $m_0 = 376$  кг.

7. Определяем статическую (формула 5.5) и максимальную (формула 5.6) нагрузки на одну пружину, принимая число виброизоляторов  $n_b = 4$  и число пружин в одном виброisolаторе  $x=2$ :

$$P_c = 9,81m_o/(n_{\text{вх}}) = 9,81 \cdot 376/(4 \cdot 2) = 461,07H$$

Расчетная максимальная нагрузка на одну пружину:

$$P_{\text{рmax}} = P_c + 0,006f_{\text{в}}^2 A_{\text{д}} P_c = 461,1 + 0,006 \cdot 16^2 \cdot 0,106 \cdot 461,1 = 536,2H,$$

где  $A_{\text{д}} = 0,106$  мм – рассчитанная с использованием интерполяции максимальная допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки (табл. 5.4).

8. Требуемая суммарная жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении, формула

$$\Sigma K_{\text{в}} = 39,48 f_{\text{в}}^2 m_o = 39,48 \cdot 3,6^2 \cdot 376 = 192384,5, \text{ Н/м.}$$

9. Требуемая жесткость одной пружины в продольном направлении, формула (5.8):

$$K_{\text{тр}} = \frac{\Sigma K_{\text{в}}}{n_{\text{вх}}} = 192384,5/(4 \cdot 2) = 24048,1 \text{ Н/м.}$$

10. Выбираем пружины марки ДО-41 (табл. 5.4), для которых проверим соблюдение условий:

$$P_{\text{г max}} = 550H \geq P_{\text{р max}} = 536,2;$$

$$K_{\text{т}} = 1,26H/м \leq K_{\text{тр}} = 24048,1H/м$$

11. После монтажа вентиляционной установки на виброизолирующие опоры уровень шума в помещении:

$$L_{\text{п}} = L - \Delta L - (23 \cdot \lg Q - 9) = 104 - 26 - (23 \cdot \lg 208,5 - 9) = 33,7 \text{ дБА},$$

что меньше допустимого  $L_{\text{доп}} = 60$  дБА.

Следовательно, применение виброизоляторов с пружинами марки ДО-41 обеспечит снижение уровня звукового давления в помещении до уровня, значительно ниже допустимого.

Методика расчета резиновых виброизоляторов [9]

1 – 5. Начало расчета резиновых виброизоляторов выполняется аналогично расчету пружинных виброизоляторов.

6. После определения массы установки вычисляют площадь поперечного сечения всех виброизоляторов,  $\text{м}^2$ :

$$F_B = 9,81 m_0/\sigma, \quad (5.12)$$

где  $m_0$  - общая масса установки, кг;

$\sigma$  - расчетное статическое напряжение в резине: для мягкой резины  $(1...3) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, для резины с большей твердостью  $(3,1...5) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

7. Рабочая высота виброизолятора:

$$H_p = \frac{E \cdot F_B}{\Sigma K_B}, \quad (5.13)$$

где  $E$  – динамический модуль упругости резины, Па;

$\Sigma K_B$  – требуемая суммарная жесткость виброизоляторов ( формула 5.7).

Динамический модуль упругости резины выбирают в зависимости от ее твердости по Шору (табл. 5.5):

Таблица 5.5

**Динамический модуль упругости резины**

| Твердость резины<br>(по Шору)                            | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70  |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Динамический<br>модуль упругости<br>$E \cdot 10^5$ , Па. | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 71 | 85 | 100 |

8. Площадь поперечного сечения одного виброизолятора, м<sup>2</sup>,

$$F_1 = F_B / n_B, \quad (5.14)$$

где  $n_B$  – число виброизоляторов.

9. Далее для виброизоляторов призматической формы находят сторону квадрата, м:

$$B = \sqrt{F_1}, \quad (5.15)$$

а для виброизоляторов цилиндрической формы — диаметр, м,

$$D = \sqrt{4F_1 / \pi}. \quad (5.16)$$

10. Для обеспечения устойчивости виброизоляции необходимо, чтобы соблюдалось условие:

для виброизоляторов призматической формы:

$$1,5H_p \leq B \leq 8H_p \quad (5.17)$$

для виброизоляторов цилиндрической формы:

$$1,5H_p \leq D \leq 8H_p \quad (5.18)$$

Если это условие не выполняется, необходимо выбрать резину другой твердости либо изменить другие параметры (число изоляторов, площадь их поперечного сечения) или выбрать пружинные виброизоляторы.

11. Полную высоту, м, виброизолятора определяют по формуле:

$$H = H_p + 0,125 \cdot B, \text{ или } H = H_p + 0,125 \cdot D. \quad (5.19)$$

12. После уточнения размеров виброизоляторов следует проверить обеспечиваемую эффективность виброизоляции, дБА:

$$\Delta L_y = 20 \lg \left( \frac{f_B^2}{f_0^2} - 1 \right), \quad (5.20)$$

где  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Sigma K_{\text{вв}}}{m_{\text{оу}}}}$  – уточненная частота собственных вертикальных колебаний, Гц;

$\Sigma K_{\text{вв}} = \frac{E \cdot F_{\text{в}}}{H_p}$  – уточненная общая жесткость всех виброизоляторов,

Н/м;

$F_{\text{в}}$  – уточненная площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, м<sup>2</sup>;

$m_{\text{оу}}$  – уточненная масса виброизолированной установки, кг.

Если общая масса установки  $m_0 \geq m_T$ , то  $m_{\text{оу}} = m_0$ .

13. Определяют уровень шума в помещении после установки резиновых виброизоляторов:

$$L = L_K - \Delta L_y$$

Полученное значение  $L$  должно быть равным или ниже  $L_{\text{доп}}$ . Если это условие не выполняется, необходимо изменить характеристики резины или другие параметры виброизоляторов.

*Пример.* В шиномонтажном отделении мастерской установлен стационарный поршневой компрессор общей массой  $m_0 = 264$  кг с приводом от электродвигателя мощностью 4 кВт и частотой вращения 1450 мин<sup>-1</sup>. Частота вращения коленчатого вала компрессора составля-



ет 1950 мин<sup>-1</sup>. Определить уровень шума в помещении после установки резиновых виброизоляторов, если создаваемый компрессором уровень звукового давления  $L_K = 88$  дБА, а допустимый уровень звукового давления  $L_{доп} = 80$  дБА.

Эксцентриситет вращающихся частей установки при ее динамической балансировке  $\varepsilon = 0,2$  мм, масса вращающихся частей установки  $m_v = 34$  кг, максимально допустимая амплитуда смещения центра тяжести компрессора  $A_d = 0,07$  мм.

*Решение.*

1. Для компрессора мощностью менее 15 кВт требуемая эффективность виброизоляции  $\Delta L_T = 17$  дБА (табл. 5.1).

2. Принимая в качестве расчетной  $n_y$  частоту вращения вала электродвигателя, определим по формуле (5.1) расчетную частоту возбуждающей силы:

$$f_B = n_y / 60 = 1450 / 60 = 24,17 \text{ Гц.}$$

3. Используя интерполяцию, найдем отношение  $C$  расчетной частоты возбуждающей силы  $f_B$  к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний  $f_{од}$  виброизолированной установки (табл. 5.2):  $C = 2,9$ .

4. По формуле (5.2) определяем предельно допустимую частоту:

$$f_{од} = f_B / C = 24,17 / 2,9 = 8,33 \text{ Гц.}$$

5. Требуемая общая масса виброизолированной установки, формула (5.3):

$$m_T = 2,5 \varepsilon \cdot m_v / A_d = 2,5 \cdot 0,2 \cdot 34 / 0,07 = 242,9 \text{ кг,}$$

Проверим соблюдение условия  $m_0 \geq m_T$ .

Поскольку  $m_0 = 264 \text{ кг} > m_T = 242,9 \text{ кг}$ , условие выполняется.

6. Площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, формула (5.14):

$$F_B = 9,81 m_0 / \sigma = 9,81 \cdot 264 / (3 \cdot 10^5) = 0,0086 \text{ м}^2.$$

7. Принимая динамический модуль упругости резины  $E = 25 \cdot 10^5$  Па (табл. 5.13), по формуле (5.7) определяем рабочую высоту каждого виброизолятора, м:

$$H_p = \frac{E \cdot F_{\text{вн}}}{\Sigma K_{\text{вн}}} = \frac{25 \cdot 10^5 \cdot 0,0086}{723221} = 0,03 \text{ м},$$

где  $\Sigma K_{\text{вн}} = 4\pi^2 \cdot f_{\text{од}}^2 \cdot m_0 = 39,48 \cdot 8,33^2 \cdot 264 = 723221 \text{ Н/м}$ .

8. Примем число виброизоляторов  $n_{\text{в}} = 4$ .

Тогда площадь поперечного сечения одного виброизолятора:

$$F_1 = F_{\text{в}}/n_{\text{в}} = 0,0086/4 = 0,00215 \text{ м}^2$$

9. Выберем виброизолятор призматической формы. Его поперечный размер - сторона квадрата:

$$B = \sqrt{F_1} = \sqrt{0,00215} = 0,046 \text{ м}.$$

10. Проверим выполнение условия устойчивости виброизоляции при использовании виброизоляторов призматической формы (формула 5.18):

$$1,5H_p \leq B \leq 8H_p, \text{ или}$$

$$1,5 \cdot 0,03 \leq 0,046 \leq 8 \cdot 0,03; \quad 0,045 \leq 0,046 \leq 0,24,$$

следовательно, условие соблюдается.

11. По формуле (5.19) найдем полную высоту виброизолятора:

$$H = H_p + 0,125 \cdot B = 0,03 + 0,125 \cdot 0,03 = 0,034 \text{ м}.$$

12. Проверим обеспечиваемую эффективность виброизоляции, формула (5.20):

$$\Delta L_y = 20 \lg \left( \frac{f_{\text{в}}^2}{f_0^2} - 1 \right) = 20 \lg \left( \frac{24,17^2}{8,3^2} - 1 \right) = 17,5 \text{ дБА},$$

где  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Sigma K_{\text{вн}}}{m_{\text{оу}}}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{716667}{264}} = 8,3 \text{ Гц}$  - уточненная частота собственных вертикальных колебаний;

$$\Sigma K_{\text{вн}} = \frac{E \cdot F_{\text{вн}}}{H_p} = \frac{25 \cdot 10^5 \cdot 0,0086}{0,03} = 716667 \text{ Н/м} - \text{уточненная общая}$$

жесткость всех виброизоляторов;  $F_{\text{вн}} = 0,03 \text{ м}^2$  - уточненная площадь поперечного сечения всех виброизоляторов.

13. Уровень шума после установки резиновых виброизоляторов:

$$L = L_K - \Delta L_y = 88 - 17,5 = 70,5 \text{ дБА},$$

что на 9,5 дБА меньше допустимого уровня звукового давления.

## 6. Расчет защитного заземления оборудования

Для защиты от поражения электрическим током применяют ряд организационных и технических решений [1], в числе которых:

- электрическое разделение сетей;
- электрическая изоляция, контроль и профилактика ее повреждения;
- защита от случайного прикосновения к токоведущим частям;
- применение малых напряжений при работе с ручным инструментом;
- устройство защитного заземления, зануления, защитного отключения;
- применение средств индивидуальной защиты.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус или по другим причинам [7].

Замыканием на корпус или, точнее, электрическим замыканием на корпус, называется случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Оно может быть результатом повреждения изоляции, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие металлические части и т.д.

Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения человека электрическим током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие указанных выше причин.

Заземляющее устройство – это совокупность заземлителя – проводников (электродов), соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем (рис. 6.1).

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Различают заземлители искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления, и естественные – находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют стальные стержни, уголки, трубы.

Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяют полосовую сталь.

В качестве естественных заземлителей могут использоваться расположенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих и взрывоопасных газов), металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие соединение с землей, и другие конструкции.

Расчет защитного заземления имеет целью определить основные параметры заземления – число, размеры и порядок размещения одиночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на корпус не превышают допустимых значений.

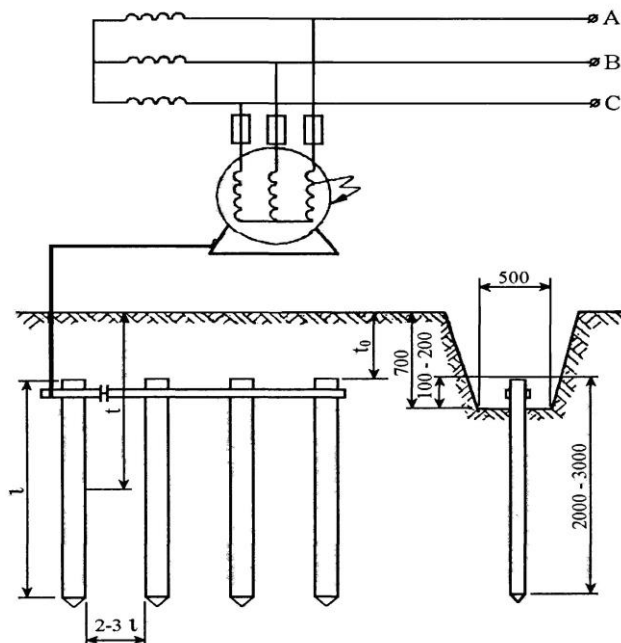


Рис. 6.1. Схема заземляющего устройства

Для расчета заземления необходимы:

- характеристика электроустановки (тип установки, рабочее напряжение, способы заземления нейтрали трансформатора и генератора);
- план электроустановки с указанием основных размеров и размещения оборудования;
- форма и размеры электродов проектируемого группового заземления, глубина их погружения в землю;
- данные измерений удельного сопротивления грунта на участке, где должен быть сооружен заземлитель, климатических условий, при которых производились эти измерения и характеристика климатической зоны (табл. 6.1 – 6.3).

Сечение соединительной полосы рекомендуется принять для всех случаев 40 х 4 мм. Расстояние между вертикальными электродами принимается равным одной, двум или трем длинам вертикального электрода.

*Примерное задание на проектирование:* Рассчитать систему заземления, выполненную с использованием вертикальных труб.

### Методика расчета [7]

1. Определяют тип заземляющего устройства и наибольшее допустимое значение его сопротивления  $R_d$ , установленное «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) [12].

- для установок до 1000 В:

10 Ом – при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВт·А;

4 Ом – во всех остальных случаях

- для установок выше 1000 В:

0,5 Ом

2. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{расч}}^{\text{в}} = \rho \cdot \varphi^{\text{в}}, \quad (7.1)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 7.1),  $\varphi^{\text{в}}$  - коэффициент сезонности, учитывающий возможность изменения сопротивления грунта в течение года, для вертикального электрода (табл. 6.2, 6.3).

Таблица 6.1

**Приближенные значения удельного сопротивления  
грунта, Ом·м**

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

Таблица 6.2

**Признаки климатических зон для определения  
коэффициента сезонности  $\phi$**

| Характеристика климатической зоны                 | Климатические зоны России |               |               |               |
|---|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
|   | 1                         | 2             | 3             | 4             |
| Средняя многолетняя низшая температура января, °С | от -20 до -15             | от -14 до -10 | от -10 до 0   | от 0 до +5    |
| Средняя многолетняя высшая температура июля, °С   | от +16 до +18             | от +18 до +22 | от +22 до +24 | от +24 до +26 |
| Среднегодовое кол-во осадков, см                  | ~ 40                      | ~ 50          | ~ 50          | 30-50         |
| Продолжительность заморозания вод, дней           | 190-170                   | ~ 150         | ~ 100         | 0             |

Таблица 6.3

**Коэффициент сезонности  $\phi$  для однородной земли**

| Климатическая зона | Влажность земли во время измерения ее сопротивления |            |           |  |            |           |
|--------------------|---|------------|-----------|--|------------|-----------|
|                    | Вертикальный электрод длиной 3 м (5 м)              |            |           | Горизонтальный электрод длиной 10 м (50 м) |            |           |
|                    | Повышенная  | Нормальная | Малая     | Повышенная                                 | Нормальная | Малая     |
| 1                  | 1,9 (1,5)   | 1,7 (1,4)  | 1,5 (1,3) | 9,3 (7,2)                                  | 5,5 (4,5)  | 4,1 (3,6) |
| 2                  | 1,7 (1,4)   | 1,5 (1,3)  | 1,3 (1,3) | 5,9 (4,8)                                  | 3,5 (3,0)  | 2,6 (2,4) |
| 3                  | 1,5 (1,3)   | 1,3 (1,2)  | 1,2 (1,1) | 4,2 (3,2)                                  | 2,5 (2,0)  | 2,0 (1,6) |
| 4                  | 1,3 (1,2)   | 1,1 (1,1)  | 1,0 (1,0) | 2,5 (2,2)                                  | 1,5 (1,4)  | 1,1       |

3. Определяют сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода в зависимости от конфигурации (табл. 6.4).

Для трубчатого или стержневого электрода:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{расч}}^{\text{в}}}{2\pi L_{\text{в}}} \left( \ln \frac{2L_{\text{в}}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L_{\text{в}}}{4t - L_{\text{в}}} \right), \quad (6.2)$$

где  $\rho_{\text{расч}}^{\text{в}}$  – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$L_{\text{в}}$  и  $d$  – длина и диаметр вертикального электрода, м, (для уголка с шириной  $b$   $d=0,95b$ );

$t$  – расстояние от середины электрода до поверхности земли, м;

$$t = \frac{L_{\text{в}}}{2} + t_0, \quad (6.3)$$

где  $t_0$  – расстояние от вертикального электрода до поверхности земли, м.

4. Определяют ориентировочное число вертикальных электродов:

$$n^{\text{ориент}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (6.4)$$

где  $R_{\text{д}}$  – допустимое по нормам сопротивление заземляющего устройства,  $\eta_{\text{в}}$  – коэффициент использования вертикальных электродов, для ориентировочного расчета принимается равным единице.

5. Находят ориентировочный коэффициент использования вертикальных электродов  $\eta^{\text{ориент}}$  по табл. 6.5, используя метод интерполяции.

6. Уточняют число вертикальных электродов и определяют  $\eta_{\text{в}}$  :

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta^{\text{ориент}}} \quad (6.5)$$

7. Определяют длину горизонтального электрода – соединительной полосы  $L_{\text{г}}$ , м, по следующим формулам:

при расположении вертикальных электродов в ряд (рис. 6.2, а):

$$L_{\text{г}} = a \cdot (n-1), \quad (6.6)$$

при расположении вертикальных электродов по контуру (рис. 6.2, б):

$$L_{\text{г}} = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (6.7)$$

где  $a$  – расстояние между вертикальными электродами, которое принимается равным одной, двум или трем длинам вертикального электрода;  $n$  – количество электродов, рассчитанное по формуле 6.5.

При контурном заземлении длина горизонтального электрода принимается равной величине периметра здания.

Таблица 6.4

**Формулы для вычисления сопротивления одиночных  
заземлителей растеканию тока в однородном грунте [11]**


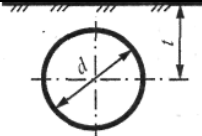
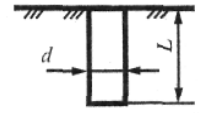
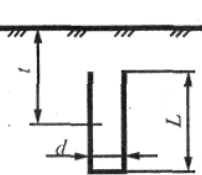
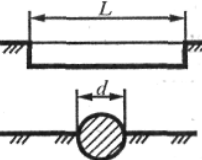
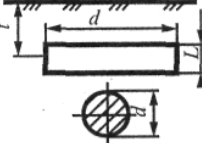
| Тип заземлителя   | Схема   | Формула  | Условия применения   |
|---|---|--|--|
| 1. Полушаровой у поверхности земли.                           |    | $R = \rho / (\pi \cdot d)$   | –  |
| 2. Шаровой в земле.   |    | $R = \frac{\rho}{2\pi d} \left( 1 + \frac{D}{4t} \right)$  | $2t \gg d$   |
| 3.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



Таблица 7.5

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

| Число за-<br>землителей,<br>$n$ | Отношение расстояния между электродами к их длине |      |      |  |      |      |
|---------------------------------|---|------|------|--|------|------|
|                                 | 1   | 2    | 3    | 1  | 2    | 3    |
|                                 | Электроды размещены в ряд<br>(рис. 10, а)         |      |      | Электроды размещены по контуру<br>(рис. 10, б) |      |      |
| 2                               | 0,85  | 0,91 | 0,94 | -  | -    | -    |
| 4                               | 0,73  | 0,83 | 0,89 | 0,69   | 0,78 | 0,85 |
| 6                               | 0,65  | 0,77 | 0,85 | 0,61   | 0,73 | 0,80 |
| 10                              | 0,59  | 0,74 | 0,81 | 0,56   | 0,68 | 0,76 |
| 20                              | 0,48  | 0,67 | 0,76 | 0,47   | 0,63 | 0,71 |
| 40                              | -   | -    | -    | 0,41   | 0,58 | 0,66 |
| 60                              | -   | -    | -    | 0,39   | 0,55 | 0,64 |
| 100                             | -   | -    | -    | 0,36   | 0,52 | 0,62 |

8. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтального электрода (стальной полосы):

$$\rho_{\text{расч}}^{\Gamma} = \rho \cdot \varphi^{\Gamma}, \quad (7.8)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 7.1),  $\varphi^{\Gamma}$  - коэффициент сезонности для горизонтального электрода (табл. 7.6).

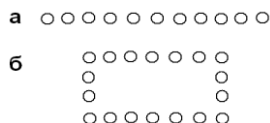


Рис. 6.2 Схемы размещения электродов  
группового заземлителя (вид в плане):  
в ряд (а) и по контуру (б)

9. Определяют сопротивление растеканию тока  $R_r$ , Ом, горизонтального электрода – стальной полосы, соединяющей вертикальные электроды:

$$R_r = \frac{\rho_{\text{расч}}^{\Gamma}}{2\pi L_r} \ln \frac{L_r^2}{0,5bt_0}, \quad (7.9)$$

где  $\rho_{\text{расч}}^{\Gamma}$  – расчетное удельное сопротивление грунта;  $L_{\Gamma}$  – длина горизонтального электрода, м;  $b$  – ширина горизонтального электрода, которая принимается обычно  $b=0,04\text{м}$ .

Таблица 6.6

**Коэффициенты использования  $\eta_{\Gamma}$  горизонтального  
полосового электрода, соединяющего вертикальные  
электроды (трубы, уголки и т.п.) группового заземлителя**

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

10. Проверяют результирующее сопротивление всего заземляющего устройства по формуле:

$$R_{3V} = \frac{R_{\Gamma} R_{\Gamma}}{R_{\Gamma} \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \eta_{\Gamma} n}, \quad (6.10)$$

где  $\eta_{\Gamma}, \eta_{\Gamma}$  – коэффициенты использования горизонтального и вертикального электродов соответственно, определяются по табл.6.5 и 6.6.

11. Заземляющее устройство должно удовлетворять условию:

$$R_{3V} \leq R_{\Gamma}. \quad (6.11)$$

В том случае, когда сопротивление заземляющего устройства превышает допустимое значение, следует увеличить количество вертикальных электродов и повторить расчет, начиная с п.7, либо изменить другие параметры.

*Пример.* Выполнить расчет защитного заземления электрооборудования производственного цеха, учитывая то, что в цехе установлено электрооборудование высокого напряжения (380 В) при установленной мощности электродвигателей 1000 Вт. Мощность питающего трансформатора превышает 100 кВ · А. В качестве вертикальных элек-

тродов предполагается использование стальных труб диаметром  $d = 0,053$  м длиной  $L_b = 3$  м, в качестве горизонтального электрода – соединительной полосы сечением 40 х 4 мм. Глубина заземления,  $t_0 = 0,5$  м. Грунт – суглинок.

*Решение.* 1. Выбираем выносное заземляющее устройство с расположением электродов в ряд и определяем его допустимое сопротивление. Для установок напряжением до 1000 В и мощностью более 100 кВт·А  $R_d \leq 4$  Ом.

2. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта для вертикального электрода, Для этого находим предварительно по справочным данным  $\rho = 100$  Ом·м (табл. 6.1) и коэффициент сезонности  $\varphi^B = 1,5$  (табл. 6.3) (2-я климатическая зона при нормальной влажности).

$$\text{Тогда } \rho_{\text{расч}}^B = \rho \cdot \varphi^B = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

3. Определяем сопротивление одиночного вертикального электрода  $R_b$ , по формуле (6.2), рассчитав предварительно величину  $t$ :

$$t = \frac{L_b}{2} + t_0 = \frac{3}{2} + 0,5 = 2 \text{ м}.$$

$$R_b = \frac{\rho_{\text{расч}}^B}{2\pi L_b} \left( \ln \frac{2L_b}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L_b}{4t - L_b} \right) =$$

$$= \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,053} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 40,8 \text{ Ом}.$$

4. Определяем ориентировочное число вертикальных электродов по формуле (6.4):  $n_{\text{ориент}} = \frac{R_b}{R_d \cdot \eta_b} = \frac{40,8}{4 \cdot 1} = 10,2$ .

Принимаем  $n_{\text{ориент}} = 11$  шт.

5. Находим ориентировочный коэффициент использования вертикальных электродов по табл. 6.5, приняв отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине равным единице. Тогда, используя метод интерполяции:

$$\eta_{\text{ориент}} = \frac{0,48 - 0,59}{20 - 10} (11 - 10) + 0,59 = 0,579$$

6. Уточняем число вертикальных электродов по формуле (6.5):

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{40,8}{4 \cdot 0,579} = 17,6.$$

Принимаем  $n = 18$  шт и находим  $\eta_{\text{в}} = 0,502$  (табл. 6.5).

7. Определяем длину горизонтального электрода при расположении вертикальных электродов в ряд (формула 6.6), учитывая то, что расстояние между электродами принято равным их длине  $a = L_{\text{в}}$ :

$$L_{\text{г}} = a \cdot (n-1) = 3 \cdot (18-1) = 51 \text{ м.}$$

8. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтального электрода ( $\rho^{\text{г}}$  находим по табл. 6.3):

$$\rho_{\text{расч}}^{\text{г}} = \rho \cdot \varphi^{\text{г}} = 100 \cdot 3 = 300 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

9. Рассчитываем сопротивление растеканию тока горизонтального электрода:

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho_{\text{расч}}^{\text{г}}}{2\pi L_{\text{г}}} \ln \frac{L_{\text{г}}^2}{0,5bt_0} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 51} \ln \frac{51^2}{0,5 \cdot 0,004 \cdot 0,5} = 13,8 \text{ Ом}$$

10. Вычисляем результирующее сопротивление заземляющего устройства, найдя коэффициент использования горизонтального электрода по табл. 6.6 –  $\eta_{\text{г}} = 0,46$ :

$$R_{\text{зв}} = \frac{R_{\text{в}} R_{\text{г}}}{R_{\text{в}} \eta_{\text{г}} + R_{\text{г}} \eta_{\text{в}} n} = \frac{40,8 \cdot 13,8}{40,8 \cdot 0,46 + 13,8 \cdot 0,502 \cdot 18} = 3,1 \text{ Ом}$$

11. Заземляющее устройство удовлетворяет условию:  $R_{\text{зв}} < R_{\text{д}}$ , так как  $3,1 < 4 \text{ Ом}$ .

Таким образом, проектируемое заземляющее устройство – выносное с расположением вертикальных электродов в ряд, состоит из 18 труб диаметром 0,053 м, длиной 3 м, забитых вертикально на глубину 0,5 м, и горизонтального электрода в виде стальной полосы длиной 51 м сечением  $0,04 \times 0,004 \text{ м}$ .

При устройстве заземления наряду с искусственными заземлителями могут быть использованы естественные заземлители – расположенные в земле элементы строительных конструкций, водопроводные трубы и др.

## 7. Защитное зануление

Защитным занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением.

Область применения – трехфазные четырехпроводные сети с напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части электроустановки с заземленной нейтралью источника питания (генератора, трансформатора) или с нулевым рабочим проводником, который в свою очередь соединен с нейтралью источника питания.

Принцип действия зануления заключается в том, что при замыкании фазы на корпус между фазой и нулевым защитным проводником создается большой ток короткого замыкания, обеспечивающий срабатывание защиты и автоматическое отключение поврежденной фазы от питающей установки (рис. 7.1).

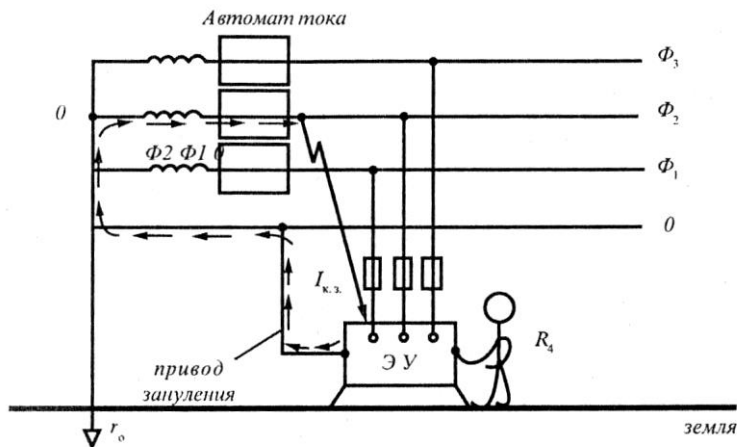


Рис. 7.1. Принципиальная схема защитного зануления

В аварийной ситуации ток короткого замыкания проходит по «петле»: фазный провод «2» – металлический корпус электроустановки – провод зануления – нулевой провод – нейтральная точка трансформатора «0» – вторичная обмотка трансформатора – фазный провод 2.

Ток короткого замыкания определяют по формуле:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_{\tau} / 3 + Z_{\phi} + Z_{н.з} + jx_n) \quad (7.1)$$

где  $Z_{\tau}$ ,  $Z_{\phi}$ ,  $Z_{н.з}$  – комплексы полных сопротивлений трансформатора, фазного и нулевого защитного проводников соответственно, Ом,  $jx_n$  – индуктивное сопротивление проводников петли фазы – нуль, Ом. Полное сопротивление петли фазы – нуль не более 1 Ом, тогда  $I_{кз}$  будет порядка 400 А и при таких токах токовая защита срабатывает мгновенно, так как срабатывают автоматы тока и отключают поврежденный участок.

На рис. 7.2 показана схема устройства защитного зануления.

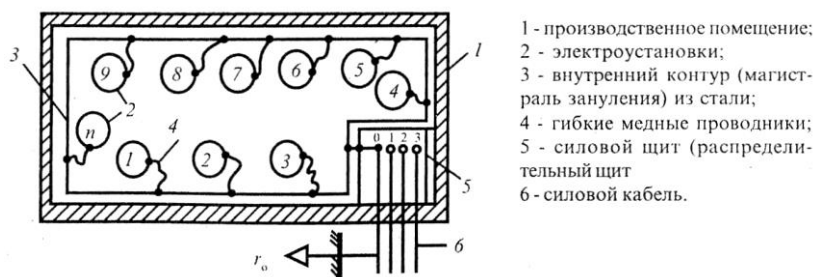


Рис. 7.2. Схема устройства защитного зануления

Расчет защитного зануления производится на его отключающую способность [7].

При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключается, если значение тока однофазного короткого замыкания удовлетворяет условию:

$$I_{кз0} > k \cdot I_{ном}, \quad (7.2)$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя А;

$k$  – коэффициент кратности тока, определяется по табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Значение коэффициента кратности тока  $k$**

| Тип защиты электроустановки  | $k$      |
|--|----------|
| 1. Автоматический выключатель, имеющий только электромагнитный расцепитель, то есть который срабатывает без выдержки времени | 1,25-1,4 |
| 2. Плавкий предохранитель  | >3       |
| 3. Плавкий предохранитель (во взрывоопасных помещениях)  | >4       |
| 4. Автоматический выключатель с обратно зависимой от тока характеристикой (как предохранитель)                               | >3       |
| 5. Автоматический выключатель с обратно зависимой от тока характеристикой (во взрывоопасных помещениях)                      | >6       |

Номинальный ток плавкой вставки  $I_n = I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}}$  (табл.7.2) должен соответствовать условию

$$I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}} < I_{\text{ном}} = I_{\text{ном тр}}, \quad (7.3)$$

где  $I$  – номинальный ток трансформатора, определяемый по формуле

$$I_{\text{ном тр}} = P_{\text{ном}} / U_{\phi} \quad (7.4)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА,  
 $U_{\phi}$  – фазное напряжение, В

Таблица 7.2

**Значение  $I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}}$  стандартных предохранителей для сетей напряжением 220 и 380 В**

| Тип предохранителя | Номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}}$ , А |
|--------------------|---|
| НПИ 15             | 6; 10; 15   |
| НПН 60М            | 20; 25; 35; 45; 60  |
| ПН2-100            | 30; 40; 50; 60; 80; 100   |
| ПН2-250            | 80; 100; 120; 150; 200; 250   |
| ПН-2-400           | 200; 250; 300; 350; 400   |
| ПН-2-600           | 300; 400; 500; 600  |
| ПН-2-1000          | 500; 600; 750; 800; 1000  |

Значение тока короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  зависит от  $U_{\phi}$  и сопротивления цепи и определяется по формулам 8.1 и 8.2.

Расчетная формула имеет вид:

$$k \cdot I_{\text{ном}} = U_{\phi} / (Z_{\text{т}} / 3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{н.п.}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{н.п.}} + X_{\text{н}})^2}) \quad (7.5)$$

где  $R_{\phi} + R_{\text{н.п.}}$  – активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников соответственно, Ом;

$X_{\phi}$  и  $X_{\text{н.п.}}$  – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников, соответственно, Ом;

$X_{\text{н}}$  – внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом.

Сечение нулевого защитного проводника и его материал принимаются заранее из условия:

$$Z_{\text{н.п.}} < 2 \cdot Z_{\phi} \quad (8.6)$$

Это условие установлено ПУЭ в предположении, что будет выполняться условие:

$$I_{\text{кз}} > k \cdot I_{\text{ном}} \quad (7.7)$$

В качестве нулевых защитных проводников ПУЭ рекомендуют применять голые или изолированные проводники, металлические конструкции зданий, сооружений, трубы электропроводок, трубопроводы.

Таким образом, расчет зануления на отключающую способность является поверочным расчетом достаточности проводимости петли фаза-нуль.

Значения  $Z_T$ , Ом, зависят от мощности трансформатора, напряжения и принимаются по табл. 7.3 или табл. 7.4.

Таблица 7.3

**Приближенные расчетные полные сопротивления масляных трансформаторов**

| Мощность трансформатора, кВ·А | Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ | $Z_T$ , Ом, при схеме соединения обмоток |                                     |
|-------------------------------|---|--|-------------------------------------|
|                               |   | У/У <sub>н</sub>                         | Д/У <sub>н</sub> и У/З <sub>н</sub> |
| 25                            | 6-10  | 3,110                                    | 0,906                               |
| 40                            | 6-10  | 1,949                                    | 0,562                               |
| 63                            | 6-10  | 11,237                                   | 0,360                               |
|                               | 20-35   | 1,136                                    | 0,407                               |
| 100                           | 6-10  | 0,799                                    | 0,226                               |
|                               | 20-35   | 0,764                                    | 0,327                               |
| 160                           | 6-10  | 0,487                                    | 0,141                               |
|                               | 20-35   | 0,478                                    | 0,203                               |
| 250                           | 6-10  | 0,312                                    | 0,090                               |
|                               | 20-35   | 0,305                                    | 0,130                               |
| 400                           | 6-10  | 0,195                                    | 0,056                               |
|                               | 20-35   | 0,191                                    | -                                   |
| 630                           | 6-10  | 0,129                                    | 0,042                               |
|                               | 20-35   | 0,121                                    | -                                   |
| 1000                          | 6-10  | 0,081                                    | 0,027                               |
|                               | 20-35   | 0,077                                    | 0,032                               |
| 1600                          | 6-10  | 0,054                                    | 0,017                               |
|                               | 20-35   | 0,051                                    | 0,020                               |

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

Таблица 7.4

**Условные расчетные сопротивления трансформаторов, приведенных к напряжению 400 В**

| Мощность трансформатора, кВ·А | 20   | 30   | 50    | 100   | 180   | 320   | 560   |
|-------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Z_T/3$ , Ом                  | 1,44 | 1,11 | 0,682 | 0,358 | 0,203 | 0,117 | 0,067 |



Значения  $R_{\phi} + R_{\text{нз}}$  (в Ом) определяются по известным данным - сечению, длине, материалу проводника. При этом для проводников из цветных металлов:

$$R = (\rho \cdot L) / S \quad (7.8)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника, Ом · мм<sup>2</sup>/м;

для меди  $\rho = 0,018$  Ом · мм<sup>2</sup>/м;

для алюминия  $\rho = 0,028$  Ом · мм<sup>2</sup>/м

$L$  – длина проводника, м;

$S$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>

Активное сопротивление стальных проводников, Ом/км, определяют по табл. 7.5.

Для этого необходимо знать профиль и сечение проводника, его длину, ожидаемое значение тока короткого замыкания  $I_{\text{кзо}}$ , который будет проходить по этому проводнику в аварийный период, а также плотность тока, которую определяют по формуле 7.9:

$$\delta = I_{\text{кзо}} / S_{\text{п}} \quad (8.9)$$

где  $\delta$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;

$I_{\text{кзо}}$  – ожидаемый ток короткого замыкания, А;

$S_{\text{п}}$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>

Для определения значений активного и индуктивного сопротивлений проводников необходимо провести вычисления по формулам:

$$R = r_{\omega} \cdot L_{\text{п}} \quad (7.10)$$

$$X = x_{\omega} / L_{\text{п}}, \quad (7.11)$$

где  $r_{\omega}$  и  $x_{\omega}$  – сопротивления стальных проводников, определенных по табл. 7.5, Ом/км.

$L_{\text{п}}$  – длина проводника, км.

В приближенных расчетах индуктивное сопротивление петли фаз-нуль  $X_{\text{п}}$  принимают равным 0,3 Ом/км для внутренней проводки и 0,6 Ом/км для воздушной линии. При короткой линии или малом расстоянии между проводами, или если проводка выполнена кабелем или в стальных трубах, индуктивным сопротивлением пренебрегать из-за его малости.

Значения  $X_{\phi}$  и  $X_{\text{н.п.}}$  для медных и алюминиевых проводников сравнительно мало (около 0,0156 Ом/км), поэтому ими, как правило, можно пренебречь. Значение  $X_{\text{п}}$ , Ом, для провода круглого сечения диаметром  $D$ , м и длиной  $L = 1$  км, проложенной в воздушной среде, определяется по формуле:

$$X_{\text{п}} = 0,1256 \cdot \ln 2D/d, \quad (7.12)$$

где  $D$  – расстояние между проводами, м;

$d$  – диаметр провода, м;

При малых значениях  $D$ , соизмеримых с диаметром проводов, сопротивление  $X_{\pi} < 0,1$  Ом/км и им можно пренебречь.

Таблица 7.5

**Активные  $r$  и индуктивные  $x$  сопротивления стальных проводников при переменном токе (50 Гц), Ом/км**

| Размер<br>или<br>диаметр<br>сечения,<br>мм | Сечение,<br>S мм <sup>2</sup> | Плотность тока $\delta$ , А/мм <sup>2</sup> |              |              |              |              |              |              |              |
|--|-------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  |                               | 0,5   |              | 1,0          |              | 1,5          |              | 2,0          |              |
|  |                               | $r_{\omega}$                                | $x_{\omega}$ | $r_{\omega}$ | $x_{\omega}$ | $r_{\omega}$ | $x_{\omega}$ | $r_{\omega}$ | $x_{\omega}$ |
| Полосы прямоугольного сечения              |                               |   |              |              |              |              |              |              |              |
| 20×4                                       | 80                            | 5,24  | 3,14         | 4,20         | 2,52         | 3,48         | 2,09         | 2,97         | 1,78         |
| 30×4                                       | 120                           | 3,66  | 2,20         | 2,91         | 1,75         | 2,38         | 1,43         | 2,04         | 1,22         |
| 30×5                                       | 150                           | 3,38  | 2,03         | 2,56         | 1,54         | 2,08         | 1,25         | -            | -            |
| 40×4                                       | 160                           | 2,80  | 1,68         | 2,24         | 1,34         | 1,81         | 1,09         | 1,54         | 0,92         |
| 50×4                                       | 200                           | 2,28  | 1,37         | 1,79         | 1,07         | 1,15         | 0,87         | 1,24         | 0,74         |
| 50×5                                       | 250                           | 2,10  | 1,26         | 1,60         | 0,96         | 1,28         | 0,77         | -            | -            |
| 60×5                                       | 300                           | 1,77  | 1,06         | 1,34         | 0,80         | 1,08         | 0,63         | -            | -            |
| Проводники круглого сечения                |                               |   |              |              |              |              |              |              |              |
| 5  | 19,63                         | 17,0  | 10,2         | 14,4         | 8,65         | 12,4         | 7,45         | 10,7         | 6,4          |
| 6  | 20,27                         | 13,7  | 8,20         | 11,2         | 6,70         | 9,4          | 5,65         | 8,0          | 4,8          |
| 8  | 50,27                         | 9,60  | 5,75         | 7,5          | 4,50         | 6,4          | 3,84         | 5,3          | 3,2          |
| 10   | 78,54                         | 7,20  | 4,32         | 5,4          | 3,24         | 4,2          | 2,52         | -            | -            |
| 12   | 113,1                         | 5,60  | 3,36         | 4,0          | 2,40         | -            | -            | -            | -            |
| 14   | 150,9                         | 4,55  | 2,73         | 3,2          | 1,92         | -            | -            | -            | -            |
| 16   | 201,1                         | 3,72  | 2,23         | 2,7          | 1,60         | -            | -            | -            | -            |

Методика расчета [7]

1. Вычисляют номинальный ток  $I_{\text{ном}}$  по формуле (7.4);
2. Определяют коэффициент кратности тока  $k$  по табл. 7.1;
3. Если не задан номинальный ток плавкой вставки  $I_{\text{пл.вст.}}$ , то выбирают его значение по табл. 7.2 таким образом, чтобы выполнялось неравенство (7.3);
4. По формуле 7.2 определяют ожидаемый ток короткого замыкания  $I_{\text{кз0}}$ ;
5. Определяют полное сопротивление трансформатора  $Z_{\text{т}}$  по табл. 7.3 и 7.4;
6. Определяют проводник (магистраль), зануление и его длину, профиль, материал, если это не задано;
7. Вычисляют значение активного сопротивления фазных проводников  $R_{\text{ф}}$  по формуле (7.8);

8. Вычисляют значение активного сопротивления нулевого проводника  $R_{нп}$  по табл. 7.5 и формуле 7.10;

9. Вычисляют значение индуктивного сопротивления фазных проводов  $X_{\phi}$  по табл. 7.5 и формуле 7.11), если они стальные. Если фазные проводники медные или алюминиевые, то принимают  $X_{\phi} = 0$ ;

10. Вычисляют значения индуктивного сопротивления нулевого проводника  $X_{н.п.}$  по табл. 7.5 и формуле 7.11;

11. Вычисляют значение индуктивного сопротивления «петли фаза-нуль»  $X_n$  по формуле 7.12;

12. Проверяют выполнение неравенства 7.5. Если оно выполняется, то плавкая вставка или автомат тока сработают и отключат поврежденный участок, в противном случае необходимо произвести перерасчет;

13. Выбирают тип предохранителя по табл. 7.2 (если он не задан).

*Пример.* Проверить отключающую способность зануления электропитающей установки механического цеха, которая получает электроэнергию от трансформатора  $D/Y_n$  ( $\Delta/\lambda$ ) напряжением 10/0,4 кВ, мощностью  $P = 25$  кВ·А. Расстояние от трансформатора до места расположения потребителей энергии  $L = 250$  м (0,25 км). Потребитель энергии защищен плавкими вставками.

В качестве фазных проводов используется кабель с медными жилами диаметром  $d = 3,56$  мм и сечением  $10 \text{ мм}^2$ . Нулевой провод сечением  $S_{н.п.} = 20 \times 4 \text{ мм}^2$  проложен на расстоянии  $D = 50$  см от кабеля.

Решение.

1. Вычисляем номинальный ток  $I_{ном}$  по формуле 7.4:

$$I_{ном} = P_{ном} / 3 \cdot U_{\phi} = 25000 / 660 = 37,8 \text{ А}$$

2. Определяем коэффициент кратности тока  $k$  по табл. 7.1:  $k=3$

3. Выбираем номинальный ток плавкой вставки по табл. 7.2 с учетом выражений 7.3 и 7.4:

$$I_{пл.вст.}^H < I_{ном} = I_{ном.тр.}$$

В нашем случае подходит номинальный ток плавкой вставки

$$I_{пл.вст.}^H = 35 \text{ А}$$

4. Определяем ожидаемый ток короткого замыкания:

$$I_{кз0} \geq k \cdot I_{ном} = 3 \cdot 37,8 \text{ А} = 113,4 \text{ А}$$

5. Определяем полное сопротивление трансформатора  $Z_T$  по табл. 7.3:

$$Z_T = 0,906 \text{ Ом}$$

6. Определяем проводник (магистраль), зануления и его длину. В нашем случае стальная шина сечением  $S_{ст} = 20 \times 4 \text{ мм}^2$  и длиной  $L_{п} = 250$  м (0,25 км)

7. Вычисляем значение активного сопротивления фазных проводников  $R_{\phi}$  по формуле 7.8:

$$R_{\phi} = (\rho \cdot L_{\pi}) / S = (0,018 \cdot 250) / 10 = 0,45 \text{ Ом}$$

8. Вычисляем значение активного сопротивления нулевого проводника  $R_{\pi\pi}$ . Для этого предварительно определяем плотность тока короткого замыкания  $\delta$  по формуле 7.9:

$$\delta = I_{\text{кз0}} / S_{\pi} = 113,4 / 80 = 1,42 \text{ А/мм}^2$$

По этой плотности тока по табл. 8.5 находим  $r_{\omega} = 3,53 \text{ Ом/км}$ .

По формуле 7.10 вычисляем значение  $R_{\pi\pi} = r_{\omega} \cdot L_{\pi} = 3,48 \cdot 0,25 = 0,87 \text{ Ом}$

9. Вычисляем значение индуктивного сопротивления фазного проводника. Так как фазные проводники сделаны из меди, то их индуктивное сопротивление мало и им можно пренебречь.  $X_{\phi} = 0$

10. Вычисляем значение индуктивного сопротивления нулевого проводника  $X_{\pi\pi}$ , аналогично вычислению  $R_{\pi\pi}$

$$x_{\omega} = 2,09 \text{ Ом/км}; X_{\pi\pi} = x_{\omega} \cdot L_{\pi} = 2,09 \cdot 0,25 = 0,52 \text{ Ом}$$

11) Вычисляем значение индуктивного сопротивления «петли фаза-нуль»  $X_{\pi}$  по формуле (7.12)

$$X_{\pi/L} = 0,1256 \cdot \ln 2D/d = 0,1256 \cdot \ln ((2 \cdot 50) / 3,56) = 0,42 \text{ Ом/км}$$

$$X_{\pi} = L_{\pi} \cdot X_{\pi/L} = 0,42 \cdot 0,25 = 0,11 \text{ Ом.}$$

12. Проверяем, выполняется ли неравенство 7.2 или 7.3:

$$k \cdot I_{\text{ном}} < I_{\text{кз}} = \frac{I_{\phi}}{\left( Z_{\tau} + \sqrt{(R_{\phi} + R_{\pi\pi})^2 + (X_{\phi} + X_{\pi\pi} + X_{\pi})^2} \right)} =$$

$$= \frac{220}{\left( \frac{0,906}{3} + \sqrt{(0,45 + 0,88)^2 + (0 + 0,53 + 0,11)^2} \right)} = 120 \text{ А}$$

Действительный ток короткого замыкания больше ожидаемого тока короткого замыкания, т. е.  $I_{\text{кз}} > 3 \cdot I_{\text{ном}}$  ( $120 \text{ А} > 113 \text{ А}$ )

13. Если неизвестен тип предохранителя, то по табл. 7.2 подбираем предохранитель НПН-60 М на номинальный ток плавкой вставки  $I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}} = 35 \text{ А}$ .

## 8. Расчет воздушно-тепловой завесы

Воздушные или воздушно-тепловые завесы (воздушные завесы с подогревом воздуха) устраивают для защиты людей от охлаждения проникающим через ворота или двери холодным воздухом. Они могут быть шиберного или смешивающего типа.

Завесы шиберного типа в результате частичного перекрытия проема воздушной струей (шиберующего действия воздушной струи) существенно сокращают прорыв наружного воздуха через открытый проем. Значение коэффициента расхода воздуха через проем при работе завесы становится меньше. В помещение поступает смесь подогретого и холодного наружного воздуха. При этом температура смеси должна быть равна нормативной.

Завесы смешивающего типа не создают дополнительного сопротивления на пути врывающегося наружного воздуха, а осуществляют эффективное смешение его с нагретым воздухом завесы в пределах тамбура.

Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, следует принимать не выше 50°C у наружных дверей и не выше 70°C у наружных ворот и проемов.

Расчетную температуру смеси воздуха, поступающего в помещение через наружные двери, ворота и проемы, следует принимать, °C не менее:

- 14 – для производственных помещений при легкой работе;
- 12 – для производственных помещений при работе средней тяжести и для вестибюлей и административно-бытовых зданий;
- 8 – для производственных помещений при тяжелой работе;
- 5 – для производственных помещений при тяжелой работе и отсутствии постоянных рабочих мест на расстоянии 3 м и менее от наружных стен и 6 м и менее – от дверей, ворот и проемов.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы у наружных проемов, ворот и дверей следует рассчитывать с учетом ветрового давления. Расход воздуха следует определять, принимая температуру наружного воздуха и скорость ветра не более 5 м/с. Скорость выпуска воздуха из щелей или отверстий воздушных или воздушно-тепловых завес следует принимать, м/сек не более: 8 – у наружных дверей; 25 – у ворот и технологических проемов.

Завесы шиберного типа, как правило, проектируют с двусторонним выпуском (двусторонние завесы) и komponуют из двух самостоятельных агрегатов, состоящих из радиальных или осевых вентиляторов, калориферов, если завеса воздушно-тепловая, и воздухораспреде-

лительных коробов (рис. 8.1), которые устанавливают с каждой стороны открываемого проема [7].

Воздухораспределительные коробки завес располагают с внутренней стороны проема на расстоянии и не более  $0,1 \cdot F_{пр}^{1/2}$  (где –  $F$  – площадь открываемого проема, оборудованного завесой).

Воздушная струя должна направляться под углом  $30^\circ$  к плоскости проема. Высота воздуховыпускной щели принимается равной высоте открытого проема. Допускается устройство нижних или боковых односторонних завес. Завесы с нижней подачей воздуха рекомендуется применять при ширине проема, значительно большей, чем высота. Они более надежно предохраняют нижнюю зону помещений от прорыва холодного воздуха. Для уменьшения потерь тепла с частью струи завесы, уходящей наружу, рекомендуется (особенно при односторонних завесах) устраивать тамбур. Длина тамбура должна быть не меньше ширины ворот, а ширина – на 1 м больше ширины ворот. Забор воздуха на завесу, как правило, производится под потолком вестибюля.

При проектировании следует принимать завесы заводского изготовления согласно табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Двусторонние воздушно-тепловые завесы**

| Шифр завесы    | Производительность    |                   | Ширина щели, мм | Размеры проема ворот, м |        | Относительная площадь $F = F_{пр} / F_{щ}$ |
|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------|--|
|                | по воздуху $G$ , кг/ч | по теплу $Q$ , Вт |                 | ширина                  | высота |  |
| ЗТ.В2-25.01.УЗ | 30000                 | 180000            | 100             | 3                       | 3      | 15   |
| ЗТ.В2-28.01.УЗ | 33600                 | 200000            | 100             | 3,6                     | 3,6    | 18   |
| А5             | 11300                 | 73700             | 70              | 2<br>2,4                | 2,4    | 17<br>17                                   |
| А5-01          | 18500                 | 173300            | 70              | 3<br>3,6                | 3      | 21<br>26                                   |
| ЗВТ1.00.000    | 28800                 | 232600            | 90              | 3                       | 3      | 17   |
| ЗВТ2.00.000    |                       |                   |                 | 3,6                     |        | 20   |
| ЗВТ1.00.000-01 | 40800                 | 511700            | 100             | 3,6                     | 3      | 18   |
| ЗВТ2.00.000-01 |                       |                   |                 |                         |        |  |
| ЗВТ1.00.000-02 | 28800                 | 232600            | 75              | 3,6<br>4,2              | 3,6    | 24<br>28                                   |
| ЗВТ2.00.000-02 |                       |                   |                 |                         |        |  |
| ЗВТ1.00.000-03 | 40800                 | 511700            | 90              | 3,6<br>4,2              | 3,6    | 20<br>23                                   |
| ЗВТ2.00.000-03 |                       |                   |                 |                         |        |  |
| ЗВТ3-1         | 39000                 | 368200            | 150             | 3,6                     | 4,2    | 12   |
| ЗВТ6-1         |                       |                   |                 |                         |        |  |
| ЗВТ3-2         | 41400                 | 423100            | 150             | 3,6                     | 4,2    | 12   |
| ЗВТ6-2         |                       |                   |                 |                         |        |  |

Продолжение таблицы 8.1

| Шифр завесы      | Производительность |                | Ширина щели, мм | Размеры проема ворот, м |        | Относительная площадь $F = F_{пр} / F_{щ}$ |
|------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------|--------|--|
|                  | по воздуху G, кг/ч | по теплу Q, Вт |                 | ширина                  | высота |  |
| ЗВТ3-3<br>ЗВТ6-3 | 43700              | 481600         | 150             | 3,6                     | 3,2    | 12   |
| ЗВТ3-4<br>ЗВТ6-4 | 44100              | 383400         | 150             | 4,2                     | 4,2    | 14   |
| ЗВТ3-5<br>ЗВТ6-5 | 52400              | 522200         | 150             | 4,2                     | 4,2    | 14   |
| ЗВТ4-1<br>ЗВТ7-1 | 55200              | 619100         | 150             | 4,2                     | 4,8    | 14   |
| ЗВТ4-2<br>ЗВТ7-2 | 56400              | 498800         | 150             | 4,2                     | 4,8    | 14   |
| ЗВТ5-1<br>ЗВТ8-1 | 63000              | 628100         | 150             | 4,2                     | 4,8    | 14   |
| ЗВТ5-2<br>ЗВТ8-2 | 67800              | 746300         | 150             | 4,2                     | 4,8    | 14   |
| ЗВТ5-3<br>ЗВТ8-3 | 76900              | 686500         | 150             | 4,8                     | 5,4    | 16   |
| ЗВТ5-4<br>ЗВТ8-4 | 85800              | 959400         | 150             | 4,8                     | 5,4    | 16   |
| ЗВТ5-5<br>ЗВТ8-5 | 91200              | 1122180        | 150             | 4,8                     | 5,4    | 16   |

Примечание: В таблице приведена суммарная производительность завес (двух установок, располагаемых с обеих сторон проема ворот) при теплоносителе – перегретой воде с параметрами 150-170 °С и температуре поступающего в вентилятор воздуха, равной 14°С. Условные обозначения:  $F_{пр}$  – площадь открываемого проема, оборудованного завесой;  $F_{щ}$  – суммарная площадь выпускных щелей.

При расчете воздушно-тепловых завес шиберного типа общий расход подаваемого воздуха определяют по формуле:

$$G = 5100 \cdot q \cdot \mu_{пр} \cdot F_{пр} \cdot (\Delta P \cdot \rho_{см}), \quad (8.1)$$

где  $q$  – отношение расхода воздуха, подаваемого завесой, к расходу воздуха, проходящего в помещение через проем при работе завесы;

$\mu_{пр}$  – коэффициент расхода проема при работе завесы (табл. 8.2);

$F$  – площадь открываемого проема, оборудованного завесой,  $m^2$ ;

$\Delta P$  – разность давлений воздуха с двух сторон наружного ограждения на уровне проема;

$\rho_{\text{см}}$  – плотность воздуха при температуре  $t_{\text{см}}$ , равной нормативной  $\rho_{\text{см}} = 353/(273 + t_{\text{см}})$ .

Таблица 8.2

**Коэффициенты расхода проемов  $\mu_{\text{пр}}$  для завес шиберного типа**

| Тип завесы | Относительная площадь | Значения $\mu_{\text{пр}}$ при относительном расходе воздуха, подаваемого завесой, $q$ |      |      |      |      |      |
|------------|-----------------------|--|------|------|------|------|------|
|            |                       | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| Боковая    | 10                    | 0,42   | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,31 | 0,29 |
|            |                       | 0,36   | 0,32 | 0,31 | 0,28 | 0,26 | 0,25 |
|            | 20                    | 0,35   | 0,32 | 0,3  | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
|            |                       | 0,3  | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
|            | 30                    | 0,31   | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
|            |                       | 0,27   | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
|            | 40                    | 0,29   | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
|            |                       | 0,25   | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Нижняя     | 10                    | 0,5  | 0,45 | 0,4  | 0,37 | 0,34 | 0,31 |
|            |                       | 0,42   | 0,38 | 0,36 | 0,32 | 0,3  | 0,27 |
|            | 20                    | 0,4  | 0,35 | 0,3  | 0,28 | 0,25 | 0,23 |
|            |                       | 0,34   | 0,3  | 0,28 | 0,25 | 0,23 | 0,21 |
|            | 30                    | 0,35   | 0,3  | 0,27 | 0,24 | 0,22 | 0,2  |
|            |                       | 0,31   | 0,26 | 0,24 | 0,21 | 0,2  | 0,18 |
|            | 40                    | 0,31   | 0,27 | 0,24 | 0,21 | 0,2  | 0,18 |
|            |                       | 0,27   | 0,24 | 0,21 | 0,19 | 0,17 | 0,15 |

Примечания: 1. Верхнее число – значения  $\mu_{\text{пр}}$  для раздвижного проема, нижние – для распашного.

2. Значения относительного расхода  $q$  и относительной площади  $F$  принимают, исходя из технико-экономических соображений. В первом приближении рекомендуется принимать  $q = 0,6 \div 0,7$ ;  $F = 20 \div 30$ .

Разность давлений  $\Delta P$  определяют расчетом в результате решения уравнений воздушных балансов помещений с учетом ветрового давления для холодного периода года.

Для ориентировочных расчетов, если нет полных исходных данных, значение  $\Delta P$  можно определять по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{т}} + k_1 \cdot \Delta P_{\text{в}}, \quad (8.2)$$

где  $k_1$  – поправочный коэффициент на ветровое давление, учитывающий степень герметичности зданий (табл. 8.3).



Таблица 8.3

**Поправочный коэффициент на ветровое давление  $k_1$** 

| Задание   | $k_1$ |
|---|-------|
| Без аэрационных проемов                                   | 0,2   |
| С аэрационными проемами, закрытыми в холодный период года | 0,5   |
| То же, открытыми в холодный период года                   | 0,8   |

$$\Delta P = 9,8 \cdot h_{\text{расч}} \cdot (\rho_n - \rho_v) \quad (8.3)$$

$$\Delta P_v = c \cdot v_v^2 \cdot \rho_n / 2 \quad (8.4)$$

где  $h_{\text{расч}}$  – расчетная высота, т. е. расстояние по вертикали от центра проема, оборудованного завесой, до уровня нулевых давлений, где давления снаружи и внутри здания равны (высота нейтральной зоны), м;

$\rho_n$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, при температуре наружного воздуха;

$\rho_v$  – то же, при средней по высоте помещения температуре внутреннего воздуха  $t_v$ ;

$v_v$  – расчетная скорость ветра, значение которой принимается для холодного периода года;

$c$  – расчетный аэродинамический коэффициент, значение которого следует принимать по СНиП 2.01.07-85.

Расчетную высоту  $h_{\text{расч}}$  ориентировочно можно принимать:

а) для зданий без аэрационных проемов и фонарей:  $h_{\text{расч}} = 0,5 \cdot h_{\text{пр}}$

где  $h_{\text{пр}}$  – высота открываемого проема, оборудованного завесой;

б) для зданий с аэрационными проемами, закрытыми в холодный период года:

$$h_{\text{расч}} = h_1 + h_2 / (0,25 \cdot (L_{\text{п}} / L_v)^2 + 1),$$

где  $h_1$  – расстояние от центра проема, оборудованного завесой, до центра приточных проемов, м;

$h_2$  – расстояние между центрами приточных и вытяжных проемов, м;

$L_{\text{п}}$  – длина открываемых в теплый период года притворов приточных проемов, м;

$L_v$  – то же, вытяжных проемов, м (для зданий со светоаэрационными или зенитными фонарями, закрытыми в холодный период года. Усредненные значения  $h_{\text{расч}}$  приведены в табл. 8.4.

в) для зданий с аэрационными проемами, открытыми в холодный период года:

$$h_{\text{расч}} = h_1 + h_{\text{п}}$$

где  $h_{\text{п}}$  – расстояние от центра открытых приточных аэрационных проемов до уровня нулевого давления.

Таблица 8.4

**Усредненные значения  $h_{\text{расч}}$  для одноэтажных производственных зданий**

| Высота здания | Значения $h_{\text{расч}}$ при размерах проема ворот, м |       |         |         |         |
|---------------|---|-------|---------|---------|---------|
|               | 3×3   | 3,6×3 | 3,6×3,6 | 4,2×4,2 | 4,8×5,4 |
| 7,2           | 5,6   | 5,4   | 4,8     | 4,1     | 2,7     |
|               | 2,9   | 2,5   | 2       | 2,1     | 2,7     |
| 8,4           | 6,4   | 6,1   | 5,6     | 4,8     | 2       |
|               | 3,4   | 2,9   | 2,4     | 2,1     | 2,7     |
| 10,8          | 7,8   | 7,6   | 7       | 6,1     | 4       |
|               | 4,4   | 3,8   | 3,2     | 2,8     | 2,7     |
| 15,6          | 10,9  | 10,5  | 9,8     | 8,7     | 6,2     |
|               | 6,2   | 5,5   | 4,8     | 3,8     | 2,7     |

Примечание: верхнее число – значения  $h_{\text{расч}}$  для зданий со светоаэрационными фонарями, нижнее – для зданий с зенитными фонарями.

Требуемая температура воздуха завесы  $t_z$  определяется на основании уравнения теплового баланса по формуле:

$$t_z = t_n + (t_{\text{см}} - t_n) / (q \cdot (1 - Q)), \quad (8.5)$$

где  $Q$  – отношение теплоты, теряемой с воздухом, уходящим через открытый проем наружу, к тепловой мощности завесы (рис. 8.2).

Для боковых завес значение  $t_z$  может быть определено с помощью номограммы, приведенной на рис. 8.3.

Тепловая мощность калориферов воздушно-тепловой завесы:

$$Q_z = A \cdot G_z \cdot (t_z - t_{\text{нач}}), \quad (8.6)$$

где:

$A = 0,28$  – коэффициент;

$t_{\text{нач}}$  – температура воздуха, забираемого для завесы, °С (на уровне всасывающего отверстия вентилятора  $t_{\text{нач}}$  принимается равной температуре смеси воздуха, поступающего в помещение; из верхней зоны – равной температуре воздуха в верхней зоне; снаружи – равной температуре наружного воздуха для холодного периода года. Если в результате расчета  $t_z$  окажется меньше  $t_{\text{нач}}$ , то следует использовать завесы без калориферных секций.

Для экономии тепловой энергии целесообразно использовать комбинированные воздушно-тепловые завесы (КВТЗ), подающие часть воздуха без подогрева. КВТЗ состоят из двух пар вертикальных воздухораспределительных коробов (стояков), установленных внутри помещения.

Наружная пара стояков, расположенная ближе к воротам, подает недогретый воздух, а внутренняя пара – нагретый до 70 °С, что позволяет снизить тепловые потери струи воздушной завесы.

Расчет КВТЗ ведется в следующем порядке:

Задаются относительный расход воздуха и относительная площадь щелей наружной пары стояков воздушной завесы  $q_n$  и  $F_n$ . Рекомендуется принимать  $q_n = 0,8$ ;  $F_n = 15$  (рис. 9.2).

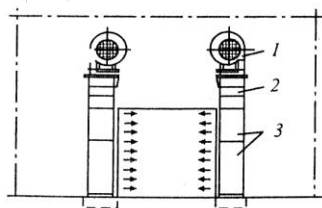


Рис. 3.1. Двусторонняя воздушнотепловая завеса шиберного типа  
1 - вентилятор; 2 - калорифер;  
3 - воздухораспределительный короб.

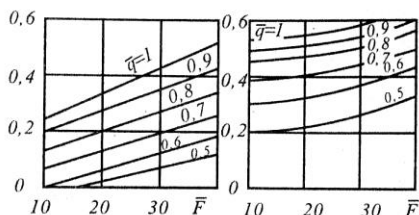


Рис. 3.2. К определению потерь теплоты с частью струи завесы шиберного типа, уходящей наружу  
а - для боковой завесы; б - для нижней завесы.

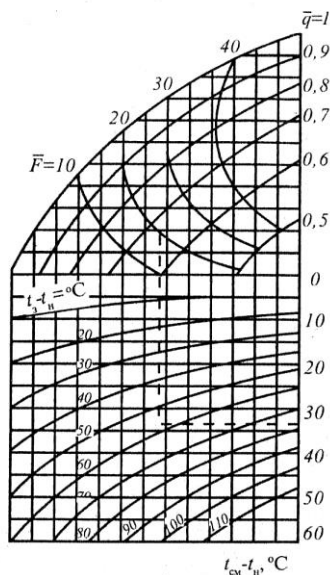


Рис.3.3. Номограмма для определения температуры воздуха для боковой завесы шиберного типа.

Затем вычисляют относительный расход воздуха через «внутреннюю» завесу по формуле:

$$q = (t_{cm} - t_n) \cdot [(1 - q_n) \cdot (1 - Q)] / (70 - t_n)$$

Рассчитывают относительную площадь воздуховыпускных щелей «внутренней» завесы:

$$F_3 = 0,84 \cdot F_n \cdot q_n / q_v$$

Определяют общую относительную площадь воздуховыпускных щелей и общий относительный расход КВТЗ:

$$F = F_v \cdot F_n \cdot (F_v + F_n)$$

По полученным значениям  $F$  и  $q$  по табл. 9.2 находят  $m_{np}$  и рассчитываются общий расход воздуха  $G$ , подаваемого КВТЗ по формуле (8.1).

После этого определяют расход воздуха через наружную и внутреннюю завесу соответственно:

$$G_n = G_3 \cdot q_n / q$$

$$G_b = G_3 \cdot q_b / q$$

Тепловая мощность калориферов КВТЗ рассчитывается по формуле (8.6) при  $G_3 = G_b$  и  $t_3 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Пример.* Рассчитать боковую двустороннюю завесу и подобрать типовое решение, если завеса должна быть устроена у распашных ворот, размером  $F_{\text{пр}} = 3,6 \times 3,6 = 12,96\text{ м}^2$  в одноэтажном производственном здании высотой 8,4 м, имеющем зенитные фонари. Расчетная температура наружного воздуха  $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_n = 1,39\text{ кг/м}^3$ . Температура воздуха в помещении  $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_c = 1,21\text{ кг/м}^3$ . При работе завесы температура смеси воздуха  $t_{\text{см}} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_{\text{см}} = 1,23\text{ кг/м}^3$ . Расчетная скорость ветра  $V_b = 5,5\text{ м/с}$ . Расчетный аэродинамический коэффициент  $e = 0,8$ . Поправочный коэффициент  $k_1 = 0,2$  (табл. 8.3).

Принимаем, согласно табл. 8.2, значение  $q = 0,6$ . В этом случае и при  $F = 20$  для распашных ворот находим  $\mu = 0,3$ .

По табл. 8.4 при принятых размерах ворот и высоте здания определяем расчетную высоту  $h_{\text{расч}} = 2,4\text{ м}$ .

Расчетная разность давлений по 9.3, 9.4 составит:

$$\Delta P = 9,8 \cdot 2,4 \cdot (1,39 - 1,21) + 0,2 \cdot 0,8 \cdot 5,5^2 \cdot 1,39 / 2 = 7,64\text{ Па}$$

Общий расход воздуха завесы по формуле 8.1 составит:

$$G = 5100 \cdot 0,65 \cdot 0,3 \cdot 12,96 \cdot (7,64 \cdot 1,23)^{1/2} = 39500\text{ кг/ч.}$$

Принимаем к установке по табл. 8.1 завесы типа ЗВТ1.00.000-03 суммарной производительностью по воздуху  $G = 40800\text{ кг/ч}$ . Для принятого по табл. 8.1 решения получим  $F = 20$  и из формулы (8.1) вычислим:

$$q = 40800 / [5100 \cdot 0,3 \cdot 12,96 \cdot (7,64 - 1,23)^{1/2}] = 0,67$$

Требуемую температуру воздуха, подаваемого завесой, находим по формуле (8.3):

$$t_3 = -20 + [(14 + 20) / 0,67 \cdot (1 - 0,1)] = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Требуемую суммарную тепловую мощность калориферов завесы вычисляем по формуле 8.4:

$$Q = 0,28 \cdot 40800 \cdot (36,4 - 14) = 255900\text{ Вт}$$

Поскольку суммарная тепловая мощность принятой типовой конструкции, согласно табл. 8.1, составляет 511700 Вт, т. е. вдвое больше требуемой, то в данном случае целесообразно в одном из агрегатов завесы не устанавливать калориферную секцию или принять однорядную установку калориферов.

## 9. Расчет искусственного освещения производственных помещений

Важным фактором обеспечения комфортных условий труда является создание оптимального освещения производственных помещений, рабочих мест, участков производства работ вне зданий и территории предприятия в целом. Для искусственного освещения производственных помещений используют преимущественно люминесцентные лампы, а при высоте 12...14 м – дуговые ртутные лампы. Лампы накаливания вследствие низкого КПД практически не находят применения на современных предприятиях.

Задачами светотехнического расчета могут быть:

- определение мощности ламп, необходимой для обеспечения заданной освещенности, при выбранных типе и расположении светильников;
- определение числа и расположения светильников известной мощности, необходимых для получения заданной освещенности;
- определение ожидаемой (расчетной) освещенности при известных типе, расположении и мощности светильников.

Наиболее распространенным методом расчета искусственного освещения является метод коэффициента использования светового потока [1]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (9.1)$$

где  $\Phi$  – требуемый световой поток дуговой ртутной лампы (ДРЛ) или группы ламп люминесцентного светильника, лм

$E_n$  – требуемая минимальная нормируемая освещенность в помещении, лк, подбирается по СНиПу 23-05-95 [10] в зависимости от условий и характера зрительной работы (табл. 9.1).

$S$  – площадь освещаемой поверхности, т.е. площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий старение лампы и запыленность воздуха в помещении. Определяется по СНиПу 23-05-95 (табл. 9.2);

$z$  – коэффициент неравномерности освещения, представляющий собой отношение средней освещенности к минимальной, создаваемой лампой  $z = E_{\text{ср}} / E_{\text{мин}}$ . Для ДРЛ  $z = 1,15$ , для люминесцентных ламп  $z = 1,1$ ;

$N$  – количество светильников, шт;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока светильника (в долях единицы), подбирается по справочным данным, исходя из типа

светильника, индекса помещения ( $i$ ) и коэффициентов отражения потолка, стен и расчетной поверхности табл. 9.3, 9.4, 9.5).

Индекс помещения  $i$  определяют по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{св}} \cdot (A + B)} \quad (9.2)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;

$H_{\text{св}}$  – расстояние от светильника до расчетной поверхности, м

$$H_{\text{св}} = H - h_{\text{п}} - h_{\text{р}} \quad (9.3)$$

где  $H$  – высота помещения, м;

$h_{\text{п}}$  – расстояние от потолка до светильника;

$h_{\text{р}}$  – расстояние от пола до расчетной поверхности.

После определения требуемого светового потока лампы подбирают по справочным данным ближайшую стандартную лампу (табл. 9.6, 9.7) и находят отклонение ее светового потока от расчетного:

$$\Delta = \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{расч}}} \cdot 100, \% \quad (9.4)$$

Допускается отклонение в пределах от -10 % до +20 %.

*Пример.* Спроектировать общее равномерное освещение помещения лаборатории физико-механических испытаний светильниками типа ШОД с двумя люминесцентными лампами. Размеры помещения: длина  $A = 18$  м, ширина  $B = 6$  м, высота  $H = 3,2$  м. Коэффициенты отражения потолка  $\rho_{\text{п}} 70\%$ , стен  $\rho_{\text{с}} 50\%$ , расчетной поверхности  $\rho_{\text{р}} 30\%$ . Содержание пыли в воздухе помещения  $< 1 \text{ мг/м}^3$ .

1. По СНиПу 23-05-95 (табл.9.1) определяем  $E_{\text{н}}$  в зависимости от характера зрительной работы:

$$E_{\text{н}} = 200 \text{ лк.}$$

2. Вычисляем площадь освещаемой поверхности, т.е. помещения:

$$S = A \cdot B = 18 \cdot 6 = 108 \text{ м}^2.$$

3. Коэффициент запаса лампы в зависимости от содержания пыли в помещении найдем по табл. 9.2:

$$K_3 = 1,5$$

Таблица 9.1

**Нормы освещенности (выдержка из СНиП 23-05-95)**

| Характеристика зрительной работы                          | Наименьший размер объекта различения, мм | Разряд зрительной работы | Подразряд зрительной работы | Контраст объекта с фоном                                     | Характеристика фона       | Искусственное освещение       |                     |
|---|--|--------------------------|-----------------------------|--|---------------------------|-------------------------------|---------------------|
|   |  |                          |                             |  |                           | Освещенность, лк              |                     |
|   |  |                          |                             |  |                           | При комбинированном освещении | При общем освещении |
| 1   | 2  | 3                        | 4                           | 5  | 6                         | 7                             | 8                   |
| Средней точности  | Св. 0,5 до 1                             | IV                       | а                           | Малый  | Темный                    | 750                           | 300                 |
|   |  |                          | б                           | Малый Средний  | Средний Темный            | 500                           | 200                 |
|   |  |                          | в                           | Малый Средний Большой  | Светлый Средний Темный    | 400                           | 200                 |
|   |  |                          | г                           | Средний Большой «  | Средний Светлый « Средний | —                             | 200                 |
| Малой точности  | Св. 1 до 5                               | V                        | а                           | Малый  | Темный                    | 400                           | 300                 |
|   |  |                          | б                           | Малый Средний  | Средний Темный            | —                             | 200                 |
|   |  |                          | в                           | Малый Средний Большой  | Светлый Средний Темный    | —                             | 200                 |
|   |  |                          | г                           | Средний Большой «  | Средний Светлый « Средний | —                             | 200                 |
| Грубая (очень малой точности)                             | Более 5                                  | VI                       |                             | Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном |                           | —                             | 200                 |
| Общее наблюдение за ходом производственного процесса:     | —  | VIII                     |                             |  |                           |                               |                     |
| постоянное  | —  |                          | а                           | То же  |                           | —                             | 200                 |
| периодическое при постоянном пребывании людей в помещении | —  |                          | б                           | «  |                           | —                             | 75                  |
| периодическое при периодическом пребывании                | —  |                          | в                           | «  |                           | —                             | 50                  |
| общее наблюдение за инженерными коммуникациями            | —  |                          | г                           | «  |                           | —                             | 30                  |

4. Коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп  $z = 1,1$ .

5. Задаемся количеством светильников  $N$  и определяем схему их навески. Принимаем 12 светильников, расположенных в два ряда.

Расстояние от стены до светильника принимается равным  $(0,3...0,5) \cdot l$ , где  $l$  – расстояние между светильниками,  $l = 2$  м. Тогда  $0,5 \cdot 2 = 1$  м.

6. Определяем индекс помещения по формуле (9.2):

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{св}} \cdot (A + B)}$$

$$H_{\text{св}} = H - h_{\text{п}} - h_{\text{р}}$$

Учитывая то, что  $h_{\text{п}}$  составляет 0,2 м, а  $h_{\text{р}}$  принимаем 0,8 м, определяем:

$$H_{\text{св}} = 3,2 - 0,2 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

$$\text{Тогда } i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{св}} \cdot (A + B)} = \frac{18 \cdot 6}{2,2 \cdot (18 + 6)} = 2,05$$

7. Коэффициент использования светового потока светильника типа ШОД с учетом заданных коэффициентов отражения потолка и стен определяем по табл.9.5. Принимается в долях единицы  $\eta = 0,55$ .

8. Тогда требуемый световой поток равен:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 108 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,55} = 5400 \text{ лм}$$

9. В светильнике – 2 лампы, поэтому требуемый световой поток одной лампы равен  $5400:2=2700$  лм. По ГОСТу 6825–74 (табл. 9.7) подбираем ближайшую стандартную люминесцентную лампу ЛТБ 40 со световым потоком 2780 лм.

10. Найдем отклонение светового потока выбранной стандартной лампы от требуемого по расчету:

$$\Delta = \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{расч}}} 100 = \frac{2780 - 2700}{2700} 100\% = 2,96\% ,$$

что находится в пределах допустимого.

11. Таким образом, для освещения помещения лаборатории требуется 12 светильников типа ШОД с двумя люминесцентными лампами. Схема расположения светильников представлена на рис. 9.1.



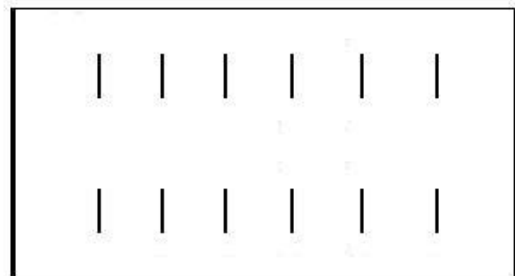


Рис. 9.1 Схема расположения светильников

Этот расчет может быть сведен к определению количества светильников в том случае, когда первоначально задаются типом лампы:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{\Phi \cdot \eta} \quad (9.5)$$

После определения  $N$  корректируют количество светильников с учетом равномерности их расположения в помещении. Затем определяют общий световой поток в помещении (расчетный и фактический) и находят отклонение по формуле (9.4).

Таблица 9.2

**Значение коэффициента запаса, учитывающего старение лампы, запыленность воздуха и загрязнение светильника**

| Помещение  | Коэффициент запаса $K_3$   |          |               |                             |            |
|--|----------------------------|----------|---------------|-----------------------------|------------|
|  | При естественном освещении |          |               | При искусственном освещении |            |
|  | Вертикально                | Наклонно | Горизонтально | Газоразрядные лампы         | ГЛВД и ДРЛ |
| 1. Производственные помещения с содержанием в воздушной среде: |                            |          |               |                             |            |
| а) свыше 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти                | 1,5                        | 1,7      | 2             | 2                           | 1,7        |
| б) от 1 до 5 мг/м <sup>3</sup>                                 | 1,4                        | 1,5      | 1,8           | 1,8                         | 1,5        |
| в) менее 1 мг/м <sup>3</sup>                                   | 1,3                        | 1,4      | 1,5           | 1,5                         | 1,3        |
| 2. Помещения общественных и жилых зданий                       | 1,2                        | 1,4      | 1,5           | 1,5                         | 1,3        |

Таблица 9.3

**Ориентировочные значения коэффициентов отражения потолка  $\rho_{\text{п}}$   
и стен  $\rho_{\text{с}}$  производственных помещений**

| Состояние потолка               | $\rho_{\text{п}}$ , % | Состояние стен                                    | $\rho_{\text{с}}$ , % |
|---------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| Свежеобеленный                  | 70                    | Свежеобеленные с окнами, закрытыми белыми шторами | 70                    |
| Побеленный в сырых помещениях   | 50                    | Свежеобеленные с окнами без штор                  | 59                    |
| Чистый бетонный                 | 50                    | Бетонные с окнами                                 | 30                    |
| Светлый деревянный (окрашенный) | 50                    | Оклеенные светлыми обоями                         | 30                    |
| Бетонный грязный                | 30                    | Грязные   | 10                    |
| Деревянный некрашенный          | 30                    | Кирпичные неоштукатуренные                        | 10                    |
| Грязный                         | 10                    | С темными обоями                                  | 10                    |

Таблица 9.4

**Коэффициент использования  
светильников ДРЛ**

| Индекс помещения | Коэффициент использования светильников ДРЛ, %  |    |    |    |    |
|------------------|--|----|----|----|----|
|                  | Коэффициенты отражения $\rho_{\text{п}}$ , $\rho_{\text{с}}$ , $\rho_{\text{р}}$ , % |    |    |    |    |
|                  | 70   | 70 | 50 | 30 | 0  |
|                  | 50   | 50 | 30 | 10 | 0  |
|                  | 30   | 10 | 10 | 10 | 0  |
| 0,5              | 30   | 30 | 23 | 20 | 18 |
| 0,6              | 37   | 36 | 30 | 27 | 26 |
| 0,7              | 42   | 40 | 33 | 31 | 29 |
| 0,8              | 45   | 43 | 37 | 34 | 33 |
| 0,9              | 47   | 45 | 40 | 37 | 35 |
| 1,0              | 49   | 47 | 41 | 40 | 38 |
| 1,1              | 54   | 50 | 43 | 42 | 40 |
| 1,25             | 55   | 53 | 47 | 44 | 42 |
| 1,5              | 59   | 56 | 50 | 48 | 45 |
| 1,75             | 62   | 58 | 53 | 50 | 48 |
| 2,0              | 67   | 60 | 59 | 53 | 50 |
| 2,25             | 69   | 62 | 57 | 54 | 52 |
| 2,5              | 71   | 63 | 59 | 57 | 53 |
| 3,0              | 73   | 66 | 60 | 58 | 56 |
| 3,5              | 75   | 67 | 61 | 59 | 57 |
| 4,0              | 77   | 69 | 63 | 61 | 58 |
| 5,0              | 79   | 70 | 66 | 63 | 60 |

Таблица 9.5

**Коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами**

| i<br>ρ             | Тип светильника                        |    |    |       |    |    |     |    |    |      |    |    |     |    |    |     |    |    |
|--------------------|--|----|----|-------|----|----|-----|----|----|------|----|----|-----|----|----|-----|----|----|
|                    | ОД                                     |    |    | ПВЛ-6 |    |    | ОДО |    |    | ОДОР |    |    | ШОД |    |    | ШЛП |    |    |
| ρ <sub>п</sub> , % | 70                                     | 50 | 30 | 70    | 50 | 30 | 70  | 50 | 30 | 70   | 50 | 30 | 70  | 50 | 30 | 70  | 50 | 30 |
| ρ <sub>с</sub> , % | 50                                     | 30 | 10 | 50    | 30 | 10 | 50  | 30 | 10 | 50   | 30 | 10 | 50  | 30 | 10 | 50  | 30 | 10 |
| i                  | Значение коэффициента использования, % |    |    |       |    |    |     |    |    |      |    |    |     |    |    |     |    |    |
| 0,5                | 30                                     | 25 | 20 | 28    | 24 | 21 | 29  | 21 | 19 | 26   | 20 | 17 | 22  | 16 | 14 | 22  | 20 | 17 |
| 0,6                | 34                                     | 29 | 25 | 32    | 27 | 24 | 32  | 26 | 22 | 30   | 24 | 20 | 28  | 21 | 18 | 27  | 25 | 21 |
| 0,7                | 38                                     | 33 | 29 | 35    | 30 | 27 | 36  | 29 | 25 | 34   | 28 | 23 | 32  | 24 | 21 | 30  | 28 | 24 |
| 0,8                | 42                                     | 36 | 33 | 38    | 33 | 29 | 40  | 33 | 28 | 37   | 31 | 26 | 35  | 27 | 24 | 33  | 30 | 27 |
| 0,9                | 45                                     | 39 | 35 | 41    | 36 | 32 | 42  | 36 | 31 | 40   | 33 | 28 | 38  | 30 | 27 | 35  | 32 | 29 |
| 1,0                | 47                                     | 42 | 38 | 44    | 38 | 34 | 46  | 38 | 33 | 42   | 35 | 30 | 41  | 32 | 29 | 37  | 34 | 31 |
| 1,1                | 50                                     | 44 | 40 | 46    | 41 | 36 | 48  | 41 | 36 | 45   | 37 | 33 | 43  | 34 | 31 | 39  | 36 | 32 |
| 1,25               | 53                                     | 48 | 43 | 48    | 44 | 39 | 51  | 44 | 38 | 48   | 40 | 35 | 46  | 37 | 34 | 42  | 38 | 34 |
| 1,5                | 57                                     | 52 | 47 | 52    | 47 | 43 | 54  | 48 | 42 | 51   | 43 | 38 | 50  | 40 | 37 | 45  | 40 | 37 |
| 1,75               | 60                                     | 54 | 51 | 54    | 50 | 46 | 59  | 51 | 45 | 54   | 46 | 41 | 53  | 43 | 40 | 47  | 42 | 40 |
| 2,0                | 62                                     | 57 | 54 | 56    | 52 | 49 | 61  | 53 | 47 | 56   | 48 | 43 | 55  | 45 | 42 | 48  | 44 | 42 |
| 2,25               | 64                                     | 59 | 56 | 58    | 54 | 51 | 63  | 55 | 49 | 58   | 50 | 45 | 57  | 47 | 44 | 50  | 46 | 43 |
| 2,5                | 65                                     | 60 | 57 | 60    | 55 | 52 | 65  | 56 | 50 | 59   | 51 | 46 | 59  | 48 | 45 | 51  | 47 | 44 |
| 3,0                | 67                                     | 63 | 60 | 62    | 58 | 55 | 67  | 59 | 53 | 61   | 53 | 48 | 61  | 50 | 48 | 53  | 49 | 46 |
| 3,5                | 69                                     | 65 | 62 | 63    | 59 | 57 | 69  | 61 | 55 | 63   | 55 | 50 | 63  | 52 | 50 | 55  | 51 | 48 |
| 4,0                | 70                                     | 66 | 64 | 64    | 61 | 58 | 70  | 62 | 56 | 64   | 56 | 51 | 65  | 54 | 51 | 56  | 52 | 49 |
| 5,0                | 72                                     | 69 | 66 | 65    | 62 | 60 | 72  | 65 | 58 | 66   | 58 | 53 | 67  | 56 | 53 | 58  | 53 | 51 |

Таблица 9.6

**Основные технические характеристики ламп ДРЛ**

| Тип                      | Мощность,<br>Вт | Световой поток,<br>лм | Размеры, мм |       | Цоколь |
|--------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|-------|--------|
|                          |                 |                       | диаметр     | длина |        |
| Четырехэлектродные лампы |                 |                       |             |       |        |
| ДРЛ 80                   | 80              | 2000                  | 77          | 157   | P27    |
| ДРЛ125                   | 125             | 4800                  | 77          | 177   | P27    |
| ДРЛ 250-2                | 250             | 10000                 | 92          | 230   | P40    |
| ДРЛ 400                  | 400             | 18000                 | 120         | 285   | P40    |
| ДРЛ 700                  | 700             | 33000                 | 140         | 310   | P40    |
| ДРЛ 1000-2               | 1000            | 50000                 | 165         | 360   | P40    |

Таблица 9.7

**Основные технические характеристики люминесцентных ламп  
(ГОСТ 6825-74)**

| Тип лампы | Мощ-<br>ность, Вт | Световой<br>поток, лм | Тип лампы | Мощ-<br>ность, Вт | Световой<br>поток, лм |
|-----------|-------------------|-----------------------|-----------|-------------------|-----------------------|
| 1         | 2                 | 3                     | 4         | 5                 | 6                     |
| ЛБV20     | 20                | 800                   | ЛТБ80     | 80                | 4720                  |
| ЛБV40     | 40                | 2360                  | ЛХБ20     | 20                | 950                   |
| ЛБ20      | 20                | 1180                  | ЛХБ40     | 40                | 2780                  |
| ЛБ40      | 40                | 3000                  | ЛХБ65     | 65                | 4100                  |
| ЛБ65      | 65                | 4550                  | ЛХБ80     | 80                | 4600                  |
| ЛБ80      | 80                | 5220                  | ЛД20      | 20                | 920                   |
| ЛБW30     | 30                | 1400                  | ЛД40      | 40                | 2340                  |
| ЛБК20     | 20                | 820                   | ЛД65      | 65                | 3570                  |
| ЛБК22     | 22                | 850                   | ЛД80      | 80                | 4070                  |
| ЛБК32     | 32                | 1500                  | ЛДЦ20     | 20                | 820                   |
| ЛБК40     | 40                | 2200                  | ЛДЦ40     | 40                | 2100                  |
| ЛТБ20     | 20                | 975                   | ЛДЦ65     | 65                | 3050                  |
| ЛТБ40     | 40                | 2780                  | ЛДЦ80     | 80                | 3560                  |
| ЛТБ65     | 65                | 4200                  |           |                   |                       |

Расчет освещения производственных помещений может быть выполнен также с использованием компьютерной программы DIALux, имеющейся на кафедре безопасности жизнедеятельности.

## **Заключение**

В пособии представлены краткие теоретические сведения о химических и физических вредных и опасных производственных факторах: запыленности воздушной среды, повышенных уровнях шума и вибрации, электрооборудовании. Представлены основные способы защиты от них производственного персонала, методики и примеры расчета средств защиты: системы аспирации, звукоизолирующего экрана, звукопоглощающей облицовки, защитного заземления и зануления, а также способы обеспечения комфортных условий труда путем устройства воздушно-тепловых завес и оптимального освещения производственных помещений. Пособие рекомендуется к использованию при выполнении практических занятий и расчетно-графического задания по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

### Библиографический список

1. *Девисилов, В.А.* Охрана труда: учебник – 5-е изд., перераб. и доп. / В.А. Девисилов. – М. : ФОРУМ, 2010. – 512 с. ISBN 978-5-91134-430-6
2. *Глебова, Е.В.* Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов / Е.В. Глебова. – М.: Высш. шк., 2007. – 382 с. ISBN 978-5-06-004897-1.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И.Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; под общ. ред. А.А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
4. *Швыдкий, В.С.* Теоретические основы очистки газов: учебник для вузов / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев, Д.В. Швыдкий. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 502 с. ISBN 5-94275-012-2.
5. *Курдюмов, В.И.* Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности / В.И. Курдюмов, Б.И. Зотов. – М.: КолосС, 2005. – 216 с. ISBN 5-9532-0289-X.
6. *Калмыков, А.В.* Борьба с пылью и шумом на обогащательных фабриках/ А.В. Калмыков, Л.Ф.Журбинский – М.:Недра,1984. – 222 с.
7. Инженерные расчеты систем безопасности труда и промышленной экологии / Под общ. ред. А.Ф. Борисова. – Нижний Новгород: Изд-во «Вента-2», 2000. – 256 с.
8. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313 – 03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Информ.-изд. центр Минздрава России, 2003. – 147 с.
9. СНиП 23-03-2003. Защита от шума / Госстрой России. – СПб.: ДЕАН, 2004. – 75 с.
10. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение/ Госстрой России. – Изд. официальное. – М., 2004. – 53 с.
11. ГОСТ 12.1.030 – 81 ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: Госкомитет по стандартам, 1984. – 10 с.
12. Правила устройства электроустановок (Безопасность и охрана труда). – М: Омега-Л, 2007. – 268 с.

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 3  |
| 1. Аэродинамический расчет аспирационной системы .....                  | 4  |
| 2. Расчет акустического экрана.....                                     | 21 |
| 3. Расчет звукопоглощающей облицовки.....                               | 23 |
| 4. Расчет и подбор звукоизолирующей стены с дверью.....                 | 32 |
| 5. Расчет виброизолирующих оснований.....                               | 39 |
| 6. Расчет защитного заземления оборудования .....                       | 50 |
| 7. Расчет защитного зануления .....                                     | 60 |
| 8. Расчет воздушно-тепловой завесы.....                                 | 69 |
| 9. Расчет искусственного освещения производственных помеще-<br>ний..... | 76 |
| Заключение.....   | 86 |
| Библиографический список.....   | 87 |

Учебное издание

**Беляева** Валентина Ивановна

## **РАСЧЕТ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

Учебное пособие

Подписано в печать 30.11.11 Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 5,5 Уч-изд. л. ...

Тираж 116 экз. Заказ № 129 . Цена 31р 58 к

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46