

**Федеральное агентство по образованию**

---

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет)

Кафедра инженерной защиты окружающей среды

**Г. К. Ивахнюк, А. Г. Антоненков, В. И. Редин**

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Методические указания  
к курсовой работе для студентов заочной формы обучения

Санкт-Петербург

2008

УДК 502.3

Ивахнюк Г. К., Антоненков А. Г., Редин В. И. Безопасность жизнедеятельности: Метод. указания.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2008.- 51 с.

В методических указаниях даны рекомендации по структуре курсовой работы, приведен список рекомендуемой литературы, даны темы курсовых работ, указан порядок оформления. Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения по специальности 280202 «Инженерная защита окружающей среды» и соответствует рабочей программе по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Библиогр. 9 назв.

Рецензент: С.И. Петров, канд. техн. наук, доцент кафедры обеспечения жизнедеятельности и охраны труда СПбГТИ(ТУ)

Утверждены на заседании учебно - методической комиссии факультета защиты окружающей среды

Рекомендованы к изданию РИСо СПбГТИ (ТУ)

## ВВЕДЕНИЕ

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) — наука, изучающая общие опасности угрожающие каждому человеку и разрабатывающая соответствующие способы защиты от них в любых условиях обитания человека.

БЖД состоит из четырех разделов:

- теоретические основы БЖД;
- БЖД в условиях производства (охрана труда);
- БЖД в окружающей среде (защита окружающей среды);
- БЖД в условиях чрезвычайных ситуаций.

Так как защита окружающей среды глубоко разбирается в специальных дисциплинах, изучаемых на старших курсах, в качестве курсовой работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» студентам предлагается разобраться в вопросах, связанных с БЖД в условиях производства:

Выбор тем обусловлен практической значимостью рассматриваемых вопросов, а защита от шума выбрана также и потому, что данная тема сложна для понимания.

## 1 ЗАЩИТА ОТ ШУМА

### 1.1 Основные понятия и определения

*Звук* - колебания определенной частоты и интенсивности в упругой среде.

*Шум* - случайное сочетание звуков различной интенсивности и частоты; мешающий, нежелательный звук.

*Звуковое поле* — область среды, в которой распространяются звуковые волны.

В звуковом поле возникают деформации разрежения и сжатия, что приводит к изменению давления в любой точке среды по сравнению с атмосферным; разность между этими давлениями звукового поля называют *звуковым давлением* ( $p$ , Па).

Распространение звука связано с переносом энергии. Общее количество звуковой энергии, излучаемой источником в единицу времени, называется *звуковой мощностью* ( $W$ , Вт).

Средний поток звуковой энергии, проходящий в единицу времени через единицу поверхности, называется *интенсивностью звука* ( $I$ , Вт/м<sup>2</sup>).

При частоте 1000 Гц *интенсивность звука* на пороге слышимости ( $I_0$ ) составляет  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>, на болевом пороге -  $10$  Вт/м<sup>2</sup>. Разница составляет  $10^{13}$ . Для удобства измерения и изображения на графиках характеристик величин, изменяющихся на несколько порядков, используют логарифмическую шкалу. Десятичный логарифм отношения двух любых величин называется уровнем одной из них по отношению к другой. Выражение для уровня интенсивности шума:

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \quad (1.1)$$

Если  $I$  больше  $I_0$  в десять раз,  $L = 1$ . Единица измерения уровня называется Бел. На практике используют более мелкую единицу (0,1 Б), называемую децибелом (дБ).

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ} \quad (1.2)$$

Связь между звуковым давлением и интенсивностью шума выражается формулой:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}, \quad (1.3)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c$  - скорость распространения звука в воздухе,  $\text{м/с}$ ;

Следовательно, *уровень звукового давления (УЗД, дБ)*:

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \quad (1.4)$$

где  $p$  - *пороговое звуковое давление*, равное  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Используемый логарифмический масштаб измерений не только удобен, но хорошо согласуется с восприятием шума человеком.

Чувствительность слуха у человека различна на разных частотах. Для частотной характеристики шума звуковой диапазон разбивают на *октавные полосы частот*, где верхняя граничная частота  $f_v$  равна удвоенной нижней частоте  $f_n$ . *Октавная полоса* характеризуется среднегеометрической частотой

$$f_{cp} = \sqrt{f_n f_v} \quad (1.5)$$

Зависимость УЗД от частоты называется *спектром шума*.

Человеческое ухо воспринимает звуки в частотном диапазоне приблизительно от 20 до 20000 Гц. Звук с частотой ниже 20 Гц называется *инфразвуком*, а звук с частотой выше 20000 Гц — *ультразвуком*. При одной и той же интенсивности звука, чем выше чистота, тем громче он нам кажется.

На практике характеристики шума принято измерять и рассчитывать в октавных полосах частот со стандартными среднегеометрическими частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц

Для интегральной оценки шума используется *уровень звука, (уровень звука в акустических децибелах, дБА)*:

$$L = 20 \lg \frac{p_A}{p_0} \quad (1.6)$$

$p_A$  – среднеквадратичное звуковое давление, измеренное по шкале А шумомера, отражающей частотную чувствительность человеческого уха.

Предельно допустимые уровни звука и звукового давления в октавных полосах частот приведены в СН 2.2.4/2.1.8.562.96. «Шум на рабочем месте, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (см. таблицу А1 Приложения А).

## 1.2 Определение уровней звукового давления на рабочих местах

Рассмотрим вначале распространение звука в свободном звуковом поле. Звуковое поле называется свободным, если в нем нет отражающих звук ограждений.

Интенсивность звука, создаваемая источником в свободном поле:

$$I = \frac{W\Phi}{\Omega r^2} \quad (1.7)$$

где  $W$ —звуковая мощность источника шума, Вт;  $\Phi$ — коэффициент направленности;  $r$ — расстояние от геометрического центра источника шума до расчетной точки, м;  $\Omega$ —пространственный угол излучения, стеррад.

Коэффициентом направленности  $\Phi$  учитывается неравномерность излучения шума источником в различных направлениях. Если коэффициент направленности источника неизвестен, то его приближенно принимают равным единице.

Угол излучения  $\Omega$  зависит от расположения источника шума. Если источник излучает шум во все стороны пространства (излучение в полную сферу), то  $\Omega = 4\pi$ . При расположении источника на плоскости (шумный агрегат находится на полу цеха) величина то  $\Omega = 2\pi$ . Для источника, помещенного на ребре двугранного угла (шумный агрегат находится на полу цеха около стены), то  $\Omega = \pi$ . Наконец, для источника, находящегося в вершине трехгранного угла (шумный агрегат расположен в углу на полу цеха),  $\Omega = \pi/2$ .

Деля выражение (1.7) на пороговое значение звуковой мощности и логарифмируя, находим уровень звукового давления в произвольной точке свободного звукового поля на расстоянии  $r$  от источника:

$$L = 10 \lg \frac{W}{W_0} + 10 \lg \Phi - 20 \lg r - 10 \lg \Omega - \frac{\beta r}{1000} \quad (1.8)$$

Дополнительный член

$$L_a = \frac{\beta \cdot r}{1000} \quad (1.9)$$

учитывает добавочное затухание шума при его распространении в атмосфере над поверхностью земли. Величина коэффициента  $\beta$  приведена в таблице 1.1.

Таблицы 1.1 - Коэффициент затухания звука в воздухе

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$B$ , дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

По формуле (1.8) можно вычислить уровни звукового давления на рабочих местах, находящихся на территории промышленного предприятия, если источник шума также расположен на территории.

Если звук распространяется не в свободном звуковом поле, а в закрытом помещении, то необходимо учитывать поглощение и отражение звука от ограждающих конструкций помещения.

Уровень звукового давления для случая, когда расчетная точка и источник шума находятся в одном помещении, рассчитывается по формуле:

$$L = L_w + 10 \lg \left( \frac{\Phi}{\Omega r^2} + \frac{4}{B} \right) \quad (1.10)$$

где  $B$  — постоянная помещения.

Постоянная помещения  $B$  в октавных полосах частот определяется по формуле:

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \quad (1.11)$$

где  $B_{1000}$  - постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая по таблице 1.2 в зависимости от объема помещения ( $V, м^3$ ) и типа помещения;  $\mu$  - частотный множитель, определяемый по таблице 1.3.

Таблица 1.2 – Постоянная помещения  $B_{1000}$

Описание помещения	$B_{1000}$
С небольшим числом людей ( металлургическое производство, металлообрабатывающие цеха, машинные залы и т. п. )	$V / 20$
С жесткой мебелью и большим числом людей или с небольшим числом людей и мягкой мебелью ( лаборатории, кабинеты, деревообрабатывающие цехи и т. п. )	$V / 10$
С большим числом людей и мягкой мебелью ( конструкторские бюро, аудитории учебных заведений, операторские и т. п. )	$V / 6$
Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	$V / 1,5$

Таблица 1.3 – Значения частотного множителя  $\mu$

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Октавные полосы частот со среднегеометрическими частотами							
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
< 200	0,82	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8
200-1000	0,67	0,65	0,62	0,64	0,75	1,0	1,5	2,4
> 1000	0,52	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0

### 1.3 Строительно – акустические методы борьбы с шумом

Активные способы борьбы с шумом имеют своей целью подавление шума в самом источнике его возникновения. Однако во многих случаях эти методы по тем или иным причинам не удается применить или их эффективность оказывается недостаточной для снижения шума до требуемого уровня. Тогда приходится прибегать к пассивным методам защиты от шума, к которым относятся так называемые строительно-акустические методы борьбы с шумом (звукоизоляция, звукопоглощение, вибродемпфирование и др.).

В тех случаях, когда по условиям технологии шумное оборудование может быть заключено в кожухе или рабочие основное время находятся на постах управления, правильный выбор и установка звукоизолирующих конструкций кожухов и кабин наблюдений обеспечивают практически любую необходимую защиту рабочих от шума.

Механизм передачи звука через ограждение состоит в том, что звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний частиц воздуха в волне. В результате этого ограждающая конструкция сама становится источником звука и излучает его в окружающее пространство. Однако величина излучаемой звуковой мощности в сотни и более раз меньше звуковой мощности, падающей на ограждение со стороны источника шума. Звукоизолирующее действие ограждающей конструкции состоит в том, что большая часть звуковой энергии отражается от ограждения.

*Собственная звукоизоляция ограждения или просто звукоизоляция ограждения* оценивается и определяется по формуле:

$$R = 10 \lg \frac{P_n^2}{P_{np}^2} \quad (1.12)$$

где  $P_{np}$  и  $P_n$  — звуковые давления соответственно в прошедшей и падающих волнах.

## Требуемая звукоизоляция ограждений

Фактическая звукоизоляция ограждений должна обеспечивать снижение шума на рабочих местах до уровней, допустимых по нормам, во всех октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц (см. Таблицу А1 Приложения А). Требуемая звукоизоляция  $R_{Ti}$  рассчитывается отдельно для каждой  $i$ -той ограждающей конструкции помещения (стены, перекрытия, окна, двери и др.) и для каждой из указанных частотных полос по следующим формулам:

1. При передаче шума из помещения (цеха) с источниками шума в смежное изолируемое помещение (пост управления и др.)

$$R_{Ti} = L - L_{\text{доп}} - 10 \lg B + 10 \lg S_i + 10 \lg n, \quad (1.13)$$

где  $L$  - октавный уровень звукового давления в защищаемом от шума помещении до проведения шумозащитных мероприятий, дБ;  $B$  - постоянная защищаемого от шума помещения, м;  $L_{\text{доп}}$  - допустимый октавный уровень звукового давления в защищаемом помещении, дБ;  $S_i$  - площадь ограждающей конструкции, через которую проникает шум в помещение, м<sup>2</sup>;  $n$  - общее число ограждающих конструкций или их элементов, через которые проникает шум.

2. При передаче шума из помещения с источниками шума в свободное пространство (на территорию предприятия)

$$R_{Ti} = L - L_{\text{доп}} + 10 \lg S - 20 \lg r + 10 \lg n - 11, \quad (1.14)$$

где  $L$  - октавный уровень звукового давления в шумном помещении, дБ;  $L_{\text{доп}}$  - допустимый октавный уровень звукового давления в расчетной точке, дБ;

$r$  - расстояние от ограждающей конструкции, через которую проникает шум, до расчетной точки.

3. При передаче шума из свободного пространства (с территории предприятия) в изолируемое помещение

$$R_{Ti} = L - L_{\text{доп}} + 10 \lg S - 10 \lg B_i + 10 \lg n + 6, \quad (1.15)$$

где  $L$  - уровень звукового давления в данной октавной полосе частот, создаваемый источником шума, в центре  $i$ -той ограждающей конструкции изолируемого помещения, дБ;

4. При использовании звукоизолирующих кожухов

$$R_{Ti} = L - L_{\text{доп}} - 10 \lg \alpha + 5, \quad (1.16)$$

где  $\alpha$  - коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей кожуха ( $\alpha = 0,5 - 0,7$ ).

Звукоизоляция сплошной преграды уменьшается при наличии в ней оконных и дверных проемов.

Возможное снижение звукоизоляции необходимо учитывать при расчете звукоизолирующих устройств путем увеличения требуемой звукоизоляции на эту величину.

### Расчет звукопоглощающих устройств

Под *звукопоглощением* понимают свойство поверхностей уменьшать интенсивность отраженных ими звуковых волн за счет преобразования звуковой энергии в тепловую. *Коэффициент звукопоглощения* характеризует потерю энергии при отражении звуковой волны от твердой поверхности. Коэффициент звукопоглощения зависит от свойств поверхности, частоты звука и угла падения звуковых волн.

Наиболее распространенными звукопоглощающими материалами являются пористые волокнистые изделия и материалы, закрытые со стороны помещения перфорированными экранами, которые защищают звукопоглощающий материал от механических повреждений и обеспечивают удовлетворительный декоративный вид. Звукопоглощающие облицовки обычно размещают на потолке и стенах. Площадь обрабатываемой поверхности для достижения максимально возможного эффекта должна составлять не менее 60 % общей площади поверхностей. При необходимости снижения шума преимущественно в области низких частот, звукопоглощающие материалы следует располагать от поверхности стен на 100 – 150 мм, оставляя между потолком и стеной воздушный зазор.

Снижение шума в помещении звукопоглощающим материалом определяется по формуле:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \cdot \psi_1}{B \cdot \psi}, \quad (1.17)$$

где  $B$  – постоянная помещения до обработки звукопоглощающим материалом и определяется по формуле (1.11);  $B_1$  – постоянная помещения после обработки помещения звукопоглощающим материалом;  $\psi$  и  $\psi_1$  – коэффициенты диффузности до и после обработки помещения, определяемые по графику на рисунке 1.

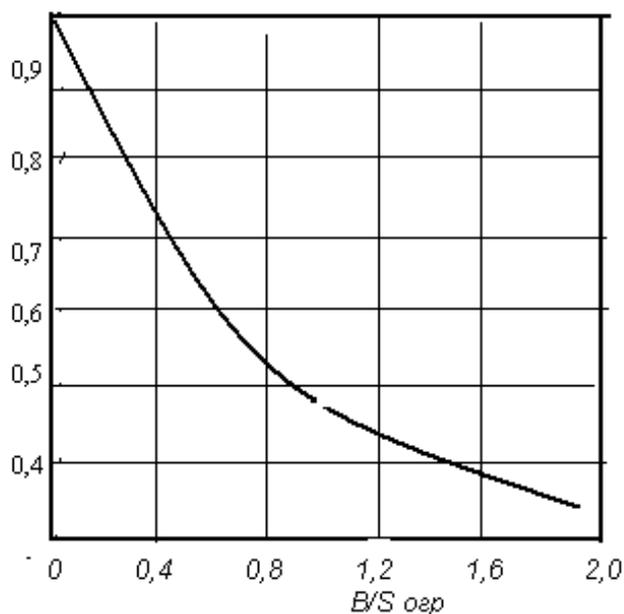


Рисунок 1.1 - Зависимость коэффициента диффузности  $\psi$  от постоянной помещения  $B$  и площади ограждения  $S_{огр}$

Постоянная помещения после облицовки звукопоглощающим материалом определяют по формуле:

$$B_1 = \frac{A + \Delta A}{1 - \alpha_1}, \quad (1.18)$$

где  $A$  – суммарное звукопоглощение ограждающих конструкций,  $m^2$ , определяется следующим образом:

$$A = \alpha (S_{огр} - S_{обл}), \quad (1.19)$$

где  $\alpha$  - средний коэффициент звукопоглощения ограждающих конструкций;  $S_{огр}$  и  $S_{обл}$  - площади ограждающих и звукопоглощающих конструкций (площадь облицовки), определяемый по формуле:

$$\alpha = \frac{B / S_{огр}}{B / S_{огр} + 1}; \quad (1.20)$$

$\Delta A$  - звукопоглощение звукопоглощающих конструкций,  $m^2$ , равно

$$\Delta A = \alpha_{обл} \cdot S_{обл} \quad (1.21)$$

Значения коэффициента  $\alpha_{\text{обл}}$  наиболее распространенных звукопоглощающих материалов представлены в таблице А2 Приложения А.

$\alpha_1$  - коэффициент звукопоглощения помещения со звукопоглощающими конструкциями рассчитывается по формуле:

$$\alpha_1 = (\Delta A + A) / S_{\text{огр}} \quad (1.22)$$

## 2 ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

### 2.1 Основные понятия и определения

*Вибрацией* называют колебательное движение сооружений, машин, механизмов и их элементов. Простейшей вибрацией является гармоническое колебание для которого *вибросмещение* определяется по формуле:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.1)$$

где  $A, \varphi$  - амплитуда и фаза колебания;  $t$  - время;  $\omega$  - угловая частота колебаний, определяемая по формуле:

$$\omega = 2\pi f_0 \quad (2.2)$$

где  $f$  - частота колебаний.

*Виброскорость* и *виброускорение* соответствует первой и второй производным по времени вибросмещения. Амплитудные значения виброскорости к виброускорения соответственно равны

$$V_m = 2\pi f_0 A; \quad a_m = 4\pi^2 f_0^2 A. \quad (2.3)$$

Для оценки воздействия вибраций на организм человека проводят спектральный анализ, рассматривая зависимости средних квадратических значений амплитуд виброскоростей и виброускорений от частоты. Для удобства построения спектрограмм вибрации весь интересующий интервал делят на октавные или третьоктавные полосы частот (см. п. 1.1).

Ввиду широких пределов изменения параметров вибраций используют логарифмические уровни (в дБ) виброскорости  $L_v$  и виброускорения  $L_a$ :

$$L_v = 20 \lg V / V_0; \quad L_a = 20 \lg a / a_0 \quad (2.4)$$

где  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с и  $a_0 = 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup> - опорные значения виброскорости и виброускорения.

По способу передачи на человека вибрация подразделяется на

а) *общую*, передающуюся через опорные поверхности сидящего или стоящего человека;

б) *локальную*, передающуюся через руки человека.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратичные значения виброскорости  $V$  или виброускорения  $a$  и их уровни - для локальной вибрации в октавных полосах частот, а для общей вибрации в октавных или третьоктавных полосах частот.

*Общую вибрацию* в зависимости от условий труда подразделяют на три категории (см. ГОСТ 12.1.012-90). В таблице 1 приведены допустимые параметры общей вибрации категории 3а (технологической) на постоянных рабочих в производственных помещениях.

Таблица 2.1 – Допустимые значения параметров общей вибрации категории 3а

Средне-геометрическая частота, Гц	Виброускорения				Виброскорости			
	м/с <sup>2</sup>		дБ		м/с · 10 <sup>-2</sup>		Дб	
	Треть - октава	Октава	Треть - октава	Октава	Треть-октава	Октава	Треть - октава	Октава
1,6	0,090	0,14	99	103	0,90	1,30	105	108
2,0	0,080		98		0,64		102	
2,5	0,071		97		0,46		99	
3,15	0,063	0,10	96	100	0,32	0,45	96	99
4,0	0,056		95		0,23		93	
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056	0,11	95	101	0,14	0,22	89	93
8,0	0,056		95		0,12		87	
10,0	0,071		97		0,12		87	
12,5	0,090	0,20	99	106	0,12	0,20	87	92
16,0	0,112		101		0,12		87	
20,0	0,140		103		0,12		87	
25,0	0,180	0,40	105	112	0,12	0,20	87	92
31,5	0,220		107		0,12		87	
40,0	0,285		109		0,12		87	

Средне-геометрическая частота, Гц	Виброускорения				Виброскорости			
	м/с <sup>2</sup>		дБ		м/с · 10 <sup>-2</sup>		дБ	
50,0	0,355	0,80	111	118	0,12	0,20	87	92
63,0	0,455		113		0,12		87	
80,0	0,560		115		0,12		87	

Для общей вибрации категории Зв на рабочих местах в помещениях для работников умственного труда допустимые значения должны быть умножены на коэффициент 0.14, а уровни - уменьшены на 17 дБ. Вибрация, удовлетворяющая гигиеническим нормам, ни в одной из третьоктавных (или октавных) полос не должна превышать приведенные значения.

Вредное воздействие вибрации на человека зависит от времени действия. Нормы вибрации установлены для производственных помещений при длительности воздействия на человека 480 мин. При времени фактического воздействия  $10 < T < 480$  мин значения нормируемых параметров вибрации  $u$ , приведенных выше, или их уровней  $L_u$  определяются по формулам:

$$u_t = u_{480} \sqrt{480/t}; \quad L_t = L_{480} + 10 \lg(480/t). \quad (2.5)$$

Для снижения параметров вибрации оборудования до нормируемых величин применяют следующие методы виброзащиты: виброизоляция, динамическое гашение колебаний, демпфирование и др. Одним из наиболее эффективных является виброизоляция. Этот метод реализуется путем введения дополнительной упругой связи между источником вибрации и защищаемым объектом. Степень реализации виброзащиты можно охарактеризовать коэффициентом динамичности  $\chi$ . Зависимость  $\chi$  от частотного отношения  $\eta = \omega_1 / \omega_0$  имеет вид

$$\chi = |1 - \eta^2|^{-1} \quad (2.6)$$

и графически представлена на рисунке 1.

Из графика следует:

- 1) если  $\omega_1 < \omega_0$ , то  $\chi \rightarrow 1$ , т.е. вынуждающая сила действует как статическая, полностью передаваясь основанию;
- 2) при  $\omega_1 = \omega_0$ ; имеет место резонанса, которое может стать причиной аварийной или предаварийной ситуации;
- 3) при  $\omega_1 \geq \sqrt{2}\omega_0$ ;  $\chi \leq 1$  и эффективность виброизолятора возрастает с увеличением  $\eta$ . Поэтому условием хорошей работы виброизоляторов является  $\omega_1 / \omega_0 > \sqrt{2}$ . Опытом установлено, что при  $\eta = 2,5 \dots 5$  эффективность виброизоляторов составляет 81...96%,

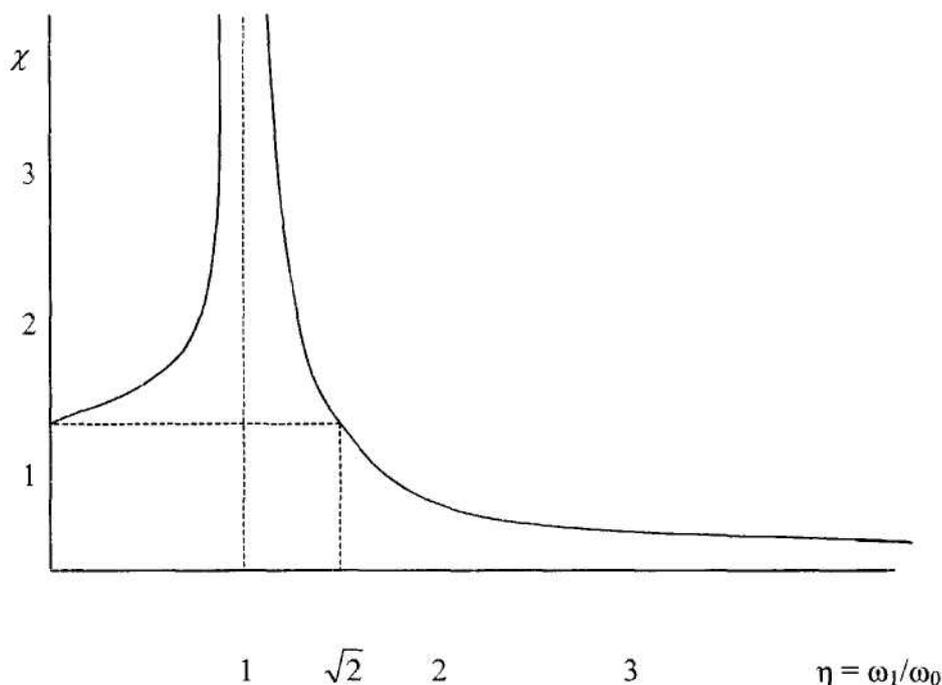


Рисунок 2.1 – Зависимость коэффициента динамичности от частотного отношения

Приближенно эффективность виброизоляторов  $U(\%)$  определяют коэффициентом динамичности  $\chi$ :

$$U = 100(1 - \chi); \quad (2.7)$$

Ослабление уровня вибрации  $\Delta L$  (дБ) оценивают по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{\chi}; \quad (2.8)$$

Серийно выпускаемые виброизоляторы классифицируются по виду материала упругого элемента или способу введения демпфирования. Различают резиноталлические, пружинные и цельнометаллические виброизоляторы с воздушным или сухим трением, а также недемпфированные. К последним относят виброизоляторы, демпфирующие свойства которых определяются внутренним трением в материале упругого элемента.

Упругим элементом резиноталлических виброизоляторов является фасонный резиновый массив, соединенный с деталями металлической арматуры о помощью вулканизации. Достоинства виброизоляторов этого типа заключается в простоте их конструкции, в широком диапазоне изменения их упругих характеристик, определяющихся как маркой применяемой резины, так и конфигурацией упругого элемента. Свойства резины определяют ограничения на применение этих виброизоляторов при неблагоприятных условиях эксплуатации: повышенная или пониженная температура и влажность, наличие масел, паров бензина, кислот, щелочей. Упругий элемент пружинных виброизоляторов пред-

ставляет фасонную пружину - коническую или экспоненциальную. По сравнению с резинометаллическими виброизоляторами пружинные обладают большим ресурсом работы, их упругие характеристики гораздо меньше зависят от внешних условий, могут работать в агрессивных средах. Демпфирование в виброизоляторах этого типа создается искусственно. Кроме того они рекомендуются для виброизоляции оборудования, имеющего скорость вращения  $n < 1800$  об/мин, резинометаллические  $n > 1800$  об/мин.

## 2.2 Расчет резинометаллических виброизоляторов

Расчет сводится к определению параметров плоского резинового массива комплекта виброизоляторов технологического оборудования.

1. Определяются частота колебаний вынуждающей силы  $f_1$  (Гц) по известному значению числа оборотов  $n$ :  $f_1 = n/60$ , и частота собственных колебаний  $f_0$  (Гц) по заданному или вычисленному значению частного отношения  $\eta$ :

$$f_0 = f_1 / \eta \quad (2.9)$$

2. Статическая осадка виброизолятора  $x_{ст}$  (м) под действием нагрузки массой  $m$ , определяется по формуле:

$$x_{ст} = \frac{g}{\omega_0^2}, \quad (2.10)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\omega_0 = 2\pi f_0$ , с<sup>-1</sup>.

3. Для выбранного материала упругого элемента виброизолятора рассчитывается его толщина  $h$  (м):

$$h = x_{ст} \frac{E}{\sigma} \quad (2.11)$$

где  $E$  - динамический модуль упругости материала, Н/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  - допустимая нагрузка на сжатие материала, Н/м<sup>2</sup>.

Упругие свойства некоторых виброизолирующих материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Упругие свойства виброизолирующих материалов

№	Материал	$E \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>	$\sigma \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>	$E/\sigma$
1.	Резина марки 112А	43	1,17	25
2.	Резиновые ребристые плиты	49	0,98	50

№	Материал	$E \cdot 10^5, \text{Н/м}^2$	$\sigma \cdot 10^5, \text{Н/м}^2$	$E/\sigma$
3.	Резина средней мягкости	200-250	3-4	64
4.	Резина мягкая	50	0,80	63
5.	Войлок мягкий	20	0,25	80
6.	Резина губчатая	30	0,30	100

4. Толщина упругого элемента должна удовлетворять условиям:

$$h < 0,5\lambda \text{ и } h < a/4 \quad (2.12)$$

так как при значении  $h = 0,5\lambda$  в виброизоляторе возникают резонансные явления, а при  $h \geq a/4$  ( $a$ - меньшая сторона (диаметр) одного виброизолятора, м)

виброизолятор начинает давать сдвиг в горизонтальной плоскости.

Длина волны колебаний ( $\lambda$ ), определяется по формуле:

$$\lambda = c / f_1 \quad (2.13)$$

где  $c$  – скорость распространения продольных колебаний в материале, м/с.

Для материалов, представленных в таблице 2,  $c$  изменяется в пределах от 40 до 60 м/с.

5. Площадь одного  $S_1$  ( $\text{м}^2$ ) из комплекта  $N$  виброизоляторов определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{mg}{N\sigma} \quad (2.14)$$

Если параметры упругого элемента виброизоляторов с выбранным материалом оказываются неприемлемыми, то выбирается другой материал или изменяется число виброизоляторов.

**Пример.** Агрегат массой  $m=1000$  кг, имеющий скорость вращения электродвигателя  $n=2400$  об/мин, на посту управления создает (на основной частоте в третьоктавном спектре) уровень виброскорости  $L_V=96,5$  дБ. Рассчитать виброизоляторы для снижения вибрации до нормативных значений.

1. Выбираем резинометаллические виброизоляторы, так как  $n > 1800$  об/мин и нет указаний на наличие агрессивных сред. Частота  $f_1=n/60 = 40$  Гц. Из таблицы 1 следует, что на постоянном рабочем месте для третьоктавной полосы  $f_{cp} = 40$  Гц допустимое значение уровня виброскорости составляет 87 дБ, тогда  $\Delta L = 9,5$  дБ. Используя формулу (2.8) находим величину

$$\frac{1}{\chi} = 10^{\Delta L/20}$$

и, воспользовавшись соотношением (2.6), определяем

$$\eta = \sqrt{1/\chi + 1} = \sqrt{10^{4L/20}} = \sqrt{10^{9,5/20} + 1} \approx 2$$

Собственная частота колебаний  $f_0$  составит

$$f_0 = f_1 / \eta = 20 \text{ Гц}$$

2. По формуле (2.10) определяем  $x_{CT} = 6,25 \cdot 10^{-4}$  м.

3. Из таблицы 2 для виброизоляторов выбираем материал - резиновые ребристые плиты, тогда из (2.11)  $h = 3,1 \cdot 10^{-2}$  м.

4. Так как для выбранного материала скорость распространения продольных колебаний изменяется в пределах от 40 до 60 м/с, то длина волны при частоте 40 Гц составит от 1 до 1,5 м/с. Условие (2.12) удовлетворяется. Следовательно, в виброisolляторе резонансные явления отсутствуют.

5. Принимаем, что число виброизоляторов равно четырем. Тогда площадь каждого из упругих элементов комплекта виброизоляторов по (2.14) составит,  $S_I = 0,025 \text{ м}^2$ . При квадратной форме упругого элемента его сторона  $a=0,16$  м., т.е. выполняется условие (2.12):  $h = 0,031 < a/4$ .

Условия (2.12) удовлетворены - уточнение не требуется. Таким образом, параметры виброизоляторов:  $N=4$ ;  $h=3,1$  см;  $S_I = 250 \text{ см}^2$ ; материал - резиновые ребристые плиты.

### 2.3 Расчет пружинных виброизоляторов

Расчет проводится в такой последовательности:

1. Собственная частота колебаний виброизолированной системы  $f_0$  (Гц) определяется: как  $f_0 = n/(60 \cdot \eta)$ .

2. Необходимая общая жесткость комплекта виброизоляторов в вертикальном направлении  $c_0$  (Н/м) определяется по формуле:

$$c_0 = m\omega_0^2, \quad (2.15)$$

а жесткость одного из  $N$  пружинных виброизоляторов  $c_1 = c_0 / N$ .

3. Амплитуда вертикальных колебаний объекта  $x_0$  (м) для гармонической возмущающей силы рассчитывается по формуле:

$$x_0 = \frac{mg}{m\omega_1 - c_0}, \quad (2.16)$$

где  $\omega_1 = 2\pi f_1 = \pi n / 30$

4. Определяется максимальная рабочая нагрузка на одну пружину:

$$P_1 = P_{CT_1} + k_1 P_{дин}, \quad (2.17)$$

где  $P_{ст_1} = mg / N$  - статическая нагрузка на одну пружину, Н;

$P_{дин_1} = x_0 c_1$  - динамическая нагрузка на одну пружину в рабочем режиме, Н;

$k_1 = 1,5$  - коэффициент, учитывающий усталость материала пружины.

5. Диаметр проволоки пружины  $d$  (м) определяется по формуле:

$$d \geq 1,6 \sqrt{P_1 v k / \tau_g}, \quad (2.18)$$

и может изменяться в широких пределах (3...40 мм). В формуле (2.18):

$v = D / d$  - индекс пружины, значение которого рекомендуется принимать от 4 до 10, в зависимости от максимальной рабочей нагрузки на пружину  $P_1$ :

$$\begin{aligned} \text{при } P_1 \leq 440 \text{ Н} & \quad v = 10; \\ \text{при } 440 < P_1 \leq 1290 \text{ Н} & \quad v = 9; \\ \text{при } P_1 > 1290 \text{ Н} & \quad v = 8. \end{aligned} \quad (2.19)$$

$D$  - средний диаметр пружины, м;  $k$  - коэффициент сжимаемости пружины, определяется по графику, представленному на рисунке 2 в зависимости от индекса пружины  $v$ ;  $\tau_d$  - допустимое напряжение сдвига при кручении материала пружины, значения  $\tau_d$  (Н/м) для марок сталей, рекомендуемых для изготовления пружин, приведены в таблице 2.3.

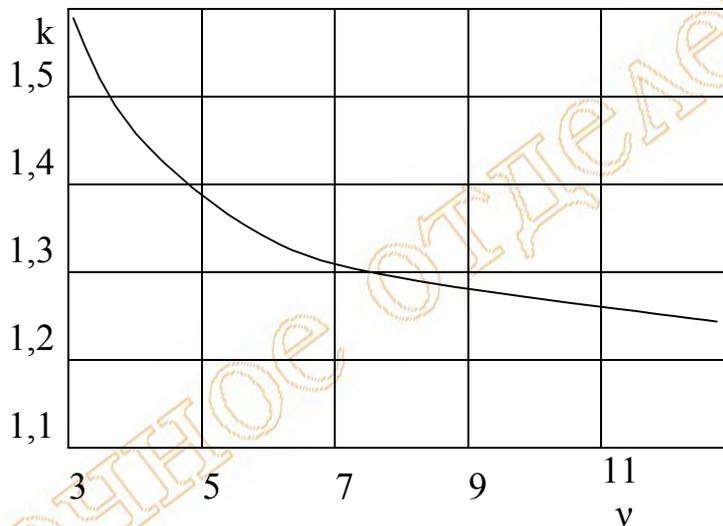


Рисунок 2.2 – Определение коэффициента  $k$

6. Полное число витков пружины

$$i = i_p + i_M, \quad (2.20)$$

где  $i_p$  - число рабочих витков, определяемое по формуле:

$$i_p = \frac{dG}{8v^3 c_1} \quad (2.21)$$

где  $G$  – модуль сдвига материала пружины (значения  $G$  (Н/м<sup>2</sup>) приведены в таблице 2.3;

$i_M$  - число мертвых витков, принимаемое в зависимости от числа рабочих витков

$$i_M = 1,5 \text{ при } i_p < 7; \quad i_M = 2,5 \text{ при } i_p \geq 7 \quad (2.22)$$

Таблица 2.3 – Параметры пружинных сталей

Марка стали	G, Н/м <sup>2</sup> · 10 <sup>10</sup>	Режим работы	τ <sub>д</sub> , Н/м <sup>2</sup> · 10 <sup>8</sup>	Рабочая нагрузка P <sub>1</sub> , Н при d, мм	
				менее 940	не менее 8
70	7,83	легкий средний тяжелый	4,11 3,73 2,74	менее 940	не менее 8
55С2 60С2 63С2А	7,45	легкий средний тяжелый	5,49 4,41 3,43	более 1200	более 9
50ХФА	7,70	легкий средний тяжелый	5,49 4,90 3,92	более 2400	более 12,5

**Пример.** Рассчитать виброизоляцию с эффективностью 87,5% для электровентильатора массой  $m=100$  кг системы кондиционирования воздуха. Скорость вращения электродвигателя  $n=1080$  об/мин. Режим работы – средний. Система виброизоляторов состоит из 6 пружин, расположенных симметрично относительно вертикальной оси, проведенной через центр масс.

1. При скоростях вращениях  $n < 1800$  об/мин оборудование устанавливают на пружинные виброизоляторы. Частота колебаний возмущающей силы  $f_1 = n/60 = 18$  Гц. Из формулы (2.7) следует, что  $\chi = 1 - 0,01u$ . Тогда, используя формулу (2.7), находим  $\eta = \sqrt{(1 - 0,01u)^{-1} + 1} = 3$ . Собственная частота системы  $f_0 = f_1/3 = 6$  Гц.

2. Необходимая общая жесткость системы виброизоляторов по формуле (2.15) составит  $c_0 = 1,41 \cdot 10^5$  Н/м. Жесткость одной пружины составляет

$$c_1 = c_0/6 = 2,35 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

3. Амплитуда вертикальных колебаний электровентильатора согласно формуле (2.16) составит:  $x_0 = 0,868 \cdot 10^{-3}$  м  $\approx 1$  мм.

4. Максимальная рабочая нагрузка на одну пружину составит

$$P_1 = P_{CT_1} + 1,5x_0c_1 = 194 \text{ Н.}$$

5. Согласно формуле (2.19) индекс пружины  $\nu = 10$ , коэффициент сжимаемости  $k=1,17$  (см. рисунок 2). Режим работы виброизоляторов характеризуется как средний, тогда в качестве материала пружин выбираем по таблице 3 сталь 70 с допустимым напряжением сдвига  $\tau_d = 3,73 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ . По формуле (2.18) диаметр проволоки пружины  $d \geq 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; принимаем  $d=5 \text{ мм}$ , причем средний диаметр пружины составит  $D = \nu d = 50 \text{ мм}$ .

6. Число рабочих витков пружины по формуле (2.21)  $i_p = 2,1$ . Принимаем  $i_p=2,5$ . В соответствии с условием (2.22)  $i_M=1,5$ . Тогда полное число витков равно четырем.

Таким образом, параметры виброизоляторов: материал пружин - сталь 70;  $d=5\text{мм}$ ;  $D = 50 \text{ мм}$ ;  $i=4$ .

## 3 ОСВЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

### 3.1 Основные понятия и определения

Электромагнитные волны с длиной волны от 390 до 764 нм, попадая в человеческий глаз, раздражают зрительный нерв, который формирует в мозгу зрительные образы. Этот диапазон электромагнитных волн называется видимым светом. Человек получает из внешнего мира через зрительный канал около 90% информации. Качество этой информации во многом зависит от освещения. Освещение бывает естественным и искусственным.

Основные количественные характеристики световой среды:

*световой поток* - мощность световой энергии, оцениваемой по зрительному восприятию,  $F$ , люмен (лм);

*сила света* - величина светового потока  $F$ , лм в единице телесного угла  $\omega$ , стерadian (пространственная интенсивность светового потока),  $I = F / \omega$ , кандела (кд);

*освещенность* - величина светового потока  $F$ , лм, отнесенная к единице площади освещаемой поверхности  $S, \text{ м}^2$  (плотность светового потока)  $E = F / S$ , люкс (лк);

*яркость* - сила света, испускаемого светящейся поверхностью в определенном направлении  $I$ , кд, отнесенная к величине проекции светящейся поверхности  $S, \text{ м}^2$  на плоскость, перпендикулярную этому направлению  $L = I / (S \cos \alpha)$ , люкс (лк).

Основные качественные характеристики:

*Фон* - поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. В зависимости от величины отражательной способности  $\rho$  фон считают: светлым - при  $\rho \geq 0,4$ ; средним - при  $0,2 \leq \rho < 0,4$ ; темным - при  $\rho \leq 0,2$ ;

*Контраст объекта различения с фоном* - отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта  $L_{об}$  и фона  $L_{ф}$  к яркости фона,  $K = |L_{об} - L_{ф}|$

$/ L_{\phi}$ . Контраст считается: большим – при  $K \geq 0,5$ ; средним – при  $0,2 \leq K < 0,5$ ; малым – при  $K < 0,2$ .

*Коэффициент пульсации освещенности* – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100\%. \quad (3.1)$$

Характеристики искусственного освещения регламентируются Строительными нормами и правилами (СНиП 23-05-95) «Естественное и искусственное освещение» (см. таблицу 3.1). Нормы искусственного освещения устанавливают наименьшую освещенность в зависимости от минимального или эквивалентного размера объекта различения, контраста объекта с фоном и характеристики фона.

### 3.2 Расчет количественных характеристик искусственного освещения

Количество светильников  $N_{\text{св}}$  со световым потоком ламп  $F_{\text{л}}$ , обеспечивающих в данном помещении заданное значение освещенности  $E$  можно определить по формуле

$$N_{\text{св}} = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot z}{F_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta}, \quad (3.1)$$

где  $K_z$  – коэффициент запаса, зависящий от степени износа лампы и загрязненности воздуха, (см. таблицу 3.3);  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $z = (E_{\text{ср}} / E_{\text{min}})$  – коэффициент минимальной освещенности. Для ламп накаливания и ламп разрядных высокого давления рекомендуется принимать  $z = 1,15$  и для ламп разрядных низкого давления люминесцентных  $z = 1,1$ ;  $F_{\text{л}}$  – световой поток лампы, лм;  $n$  – количество ламп в одном светильнике;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока (см. таблицу 3.2), зависящий от геометрических параметров помещения (индекса помещения  $i$ ) и отражательной способности потолка  $\rho_{\text{пот}}$  и стен  $\rho_{\text{ст}}$  (см. таблицу 3.2).

Индекс помещения находим по формуле

$$i = \frac{AB}{(A+B) \cdot H_{\text{св}}}, \quad (3.2)$$

где  $A$  – длина помещения;  $B$  – его ширина;  $H_{\text{св}}$  – высота подвеса светильников.

Суммарную мощность осветительных установок можно определить по формуле:

$$P_{\text{oy}} = P_{\text{л}} * N_{\text{св}} * n, \quad (3.3)$$

где:  $P_{\text{л}}$  - электрическая мощность одной лампы, Вт;  $n$  - количество ламп в одном светильнике.

Заочное отделение

Заочное отделение

**Таблица 3.1 – Нормы освещенности производственных помещений согласно Строительными нормами и правилами (СНиП 23-05-95) «Естественное и искусственное освещение».**

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Освещенность, лк		
				Комбинированное искусственное освещение		Общее искусственное освещение
				Всего	В т.ч. от общего освещения	
1	2	3	4	5	6	7
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	5000	500	-
			б	4000	400	1250
			в	2500	300	750
			г	1500	200	400
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	4000	400	-
			б	3000	300	750
			в	2000	200	500
			г	1000	200	300
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	2000	200	500
			б	1000	200	300
			в	750	200	300
			г	400	200	200
Средней точности	От 0,50 до 1,0	IV	а	750	200	300
			б	500	200	200
			в	400	200	200
			г	-	-	200
Малой точности	свыше 1 до 5	V	а	400	200	300

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Освещенность, лк		
				Комбинированное искусственное освещение		Общее искусственное освещение
				Всего	В т.ч. от общего освещения	
1	2	3	4	5	6	7
			б	-	-	200
			в	-	-	200
			г	-	-	200
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	-	-	-	200
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	-	-	-	200
Общее наблюдение за ходом процесса: постоянное  периодическое	-	VIII	а	-	-	200
			б	-	-	75
			в	-	-	50
			г	-	-	20

Таблица 3.2 – Определение коэффициентов использования светового потока,  $\eta$

Светильник	СЗ			РСП			НСП			ЛСП			ПВЛ		
$\rho_{ном}$	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
$\rho_{см}$	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
$i$	Коэффициент использования светового потока, $\eta$														
0,5	0,17	0,21	0,25	0,21	0,24	0,28	0,12	0,14	0,17	0,23	0,26	0,31	0,11	0,13	0,18
0,6	0,23	0,27	0,31	0,25	0,28	0,34	0,16	0,18	0,21	0,30	0,33	0,37	0,14	0,17	0,23
0,7	0,30	0,34	0,39	0,29	0,39	0,38	0,19	0,21	0,24	0,35	0,38	0,42	0,16	0,20	0,27
0,8		0,38	0,44	0,33	0,36	0,42	0,21	0,24	0,26	0,39	0,41	0,45	0,19	0,23	0,29
0,9	0,37	0,41	0,47	0,38	0,40	0,44	0,23	0,25	0,28	0,42	0,44	0,48	0,21	0,27	0,32
1	0,39	0,43	0,49	0,40	0,42	0,47	0,25	0,27	0,29	0,44	0,46	0,49	0,23	0,28	0,34
1,5	0,41	0,50	0,55	0,46	0,51	0,57	0,29	0,30	0,39	0,50	0,52	0,56	0,30	0,36	0,42
2	0,51	0,55	0,60	0,54	0,58	0,62	0,32	0,33	0,35	0,55	0,57	0,60	0,35	0,40	0,46
3	0,58	0,62	0,66	0,61	0,64	0,67	0,35	0,37	0,39	0,60	0,62	0,66	0,41	0,45	0,52
4	0,62	0,66	0,70	0,64	0,67	0,70	0,37	0,39	0,41	0,63	0,65	0,68	0,44	0,48	0,54

Таблица 3.3 - Коэффициент запаса,  $K_3$

Характеристика воздушной среды производственного помещения	Коэффициент запаса $K_3$	
	Газоразряд- ные лампы	Лампы накаливания
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей вредных выделений в рабочей зоне:		
а) свыше $5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	2,0	1,7
б) $1-5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	1,8	1,5
в) менее $1 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	1,5	1,3
г) значительные концентрации паров кислот, щелочей, газов	1,8	1,5

Таблица 3.4 - Величина светового потока различных ламп

Тип лампы	Световой поток, лм	Тип лампы	Световой поток, лм
<b>Лампы накаливания общего назначения</b>			
БК 220-230-100	1500	Г 245-255-150	2060
БК 220-230-150	2380	Г 245-255-200	2880
БК 230-240-100	1485	Г 245-255-300	4780
В 245-255-25	215	Г 245-255-500	8250
<b>Галогенные лампы накаливания</b>			
Г 230-240-200	2910	КГИ 12-100	220
Г 230-240-350	4800	КГИ 24-250	950
Г 230-240-500	8300	КГЭ 24-150	2600
Г 230-240-1000	18610	КГЭ 24-250	4000
<b>Люминесцентные ртутные лампы низкого давления</b>			
ЛР40	1000	ЛД40	2300
ЛДЦ40	2100	ЛБ65	4600
ЛБР40	2700	ЛД65	3750
ЛГ40	1050	ЛБ80	5200
<b>Газоразрядные лампы высокого давления, металлогалогенных и ДРЛ</b>			
ДРИ 1000	90000	ДРИШ 4000	370
ДРИ 2000	170000	ДРЛ 50	1400
ДРИ 3000	320000	ДРЛ 80	3600
ДРИ 3500	300000	ДРЛ 125	5900

## 4 ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

### 4.1 Основные понятия и определения

Вентиляция является важным средством обеспечения нормальных санитарно-гигиенических и метеорологических условий в производственных помещениях. Однако при значительных выделениях газов, паров, пыли и тепла разбавление их в большом объеме вентиляционного воздуха, как правило, не обеспечивает нормальных санитарно-гигиенических условий. Поэтому основными мерами оздоровления воздушной среды производственных помещений являются: герметизация аппаратуры, применение закрытых транспортных устройств, полное укрытие всех поверхностей испарения жидкостей и мест выделения пыли, увлажнение пылящих материалов. Источники выделения конвекционного или лучистого тепла закрывают изоляцией, экранами, щитами, водяными и воздушными завесами.

Основными видами вентиляции (по побудителю) являются:

а) *естественная аэрация*, при которой воздухообмен происходит вследствие разной плотности воздуха внутри и вне помещения и воздействия ветра;

б) *искусственная или механическая*, при которой движение воздуха вызывается работой вентиляторов или эжекторов.

По направлению воздушных потоков различают *приточную* — нагнетательную вентиляцию и *вытяжную* — отсасывающую.

По характеру охвата различают *местную* и *общеобменную* вентиляцию. При помощи местной вытяжной вентиляции удаляется загрязненный воздух непосредственно у места выделения вредных веществ и не допускается их распространение по всему помещению. Отсос загрязненного воздуха непосредственно из замкнутых объемов самих аппаратов или кожухов, закрывающих аппарат, называется *аспирацией*. При аспирации создается разрежение внутри аппаратов; это препятствует проникновению пыли и газов в помещение через неплотности при нарушениях герметичности аппаратуры. Аспирация — наиболее эффективное и экономичное средство борьбы с вредностями.

Если трудно создать нормальные условия во всем цехе, то при помощи местной приточной вентиляции на рабочих местах у пультов управления или в местах отдыха создают *воздушные оазисы* — участки с чистым прохладным воздухом а также применяют *воздушные души*.

Общеобменная вентиляция удаляет остатки загрязненного, а также нагретого воздуха путем разбавления и вытеснения его свежим воздухом. При этом объем поступающего свежего воздуха, как правило, должен равняться общему объему воздуха, удаляемого системами местной вытяжки, вытяжными фонарями, а также воздуха, забираемого из помещения для технологических целей топками печей, сушилками, пневмотранспортными установками и др.

Оптимальные метеорологические условия (искусственный климат) создаются путем *кондиционирования воздуха* в специальных автоматизированных установках.

Для быстрого удаления опасных веществ, проникших из аппаратуры в помещение, при производственных неполадках и авариях устраивают специальные системы *аварийной вытяжной вентиляции*.

## 4.2 Общеобменная вентиляция

Местная вентиляция не охватывает всех источников выделения вредностей и поэтому не всегда оказывается достаточной для полной очистки воздушной среды от вредных веществ и особенно для удаления тепловыделений. После удаления основной массы вредных выделений местными вытяжками нормальные санитарные условия достигаются при помощи общеобменной вентиляции, путем замены и разбавления загрязненного воздуха свежим (естественная аэрация), инфильтрации через стены, двери и окна или путем применения специальных технических устройств. Наиболее устойчивый режим общего обмена осуществляется приточно-вытяжной системой механической вентиляции.

Ориентировочное значение количества воздуха, необходимого для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне, можно определить по кратности воздухообмена, значения которой можно найти в отраслевых нормативных документах.

Кратность воздухообмена ( $K$ , час<sup>-1</sup>), т.е. сколько раз в течение часа заменяется воздух в помещении, рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{W}{V}, \quad (4.1)$$

где  $W$  — объем воздуха, отсасываемого из помещения, м<sup>3</sup>/ч;  
 $V$  — объем помещения.

При проектировании вентиляции количество воздуха, необходимого для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне, определяют:

- а) для помещений с тепловыделениями — по избыткам явного тепла;
- б) для помещений с тепло- и влаговыделениями — по избыткам явного тепла, влаги и скрытого тепла в рабочей зоне;
- в) для помещений с газовыделениями — по количеству вредных веществ, поступающих в рабочую зону, из условия разбавления до допустимых концентраций.

### Расчет общеобменной вентиляции по концентрации вредных веществ

Минимальное количество воздуха, которое необходимо заменять в рабочем помещении общеобменной вентиляцией, определяется по формуле:

$$W = \frac{q \cdot 10^6}{C_{доп} - C_0}, \quad (4.2)$$

где  $W$  — объем воздуха, отсасываемого из помещения,  $м^3/ч$ ;

$q$  — количество вредных веществ, выделяющихся в рабочее помещение (за вычетом удаляемого местными отсосами),  $кг/ч$ ;

$C_{доп}$  — предельно допустимое содержание вредных веществ по санитарным нормам (предельно допустимая концентрация вредного вещества в рабочей зоне, ПДК<sub>р.з.</sub>),  $мг/м^3$ ;

$C_0$  — содержание вредных веществ в подаваемом «чистом» воздухе,  $мг/м^3$ .

Содержание вредных веществ в подаваемом наружном воздухе не должно превышать 30% предельно допустимой концентрации их в воздухе рабочих помещений. В случае превышения этой концентрации требуется специальная очистка вентиляционного воздуха.

В таблице 4.1 приведены предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоне для некоторых веществ.

Таблице 4.1 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК <sub>р.з.</sub> , $мг/м^3$
Диоксида азота	2
Оксид углерода	20
Диметилкетон (Ацетон)	200

### Расчет общеобменной вентиляции по избыточной влажности

Объем воздуха ( $W$ ,  $м^3/ч$ ), необходимый для удаления паров воды, рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{G \cdot 1000}{d_y - d_n}, \quad (4.3)$$

где  $G$  — количество выделяющейся в помещение влаги,  $кг/ч$ ;

$d_y$  — влагосодержание воздуха, удаляемого из производственного помещения,  $г/м^3$ ;

$d_n$  — влагосодержание воздуха, поступающего в помещение,  $г/м^3$ .

## Расчет общеобменной вентиляции по избыточным тепловыделениям

Объем воздуха, необходимый для удаления избыточного тепла, определяется по формуле:

$$W = \frac{3600 \cdot Q_{\text{изб}}}{c\rho(t_y - t_n)}, \quad (4.4)$$

$Q_{\text{изб}}$  — количество избыточного тепла, кВт;

$c$  — теплоемкость воздуха, равная 1.0 кДж/(кг град);

$\rho$  — плотность воздуха, 1,2 кг/м<sup>3</sup>;

$t_y$  — температура воздуха, уходящего из помещения (принимается равной температуре воздуха рабочей зоны);

$t_n$  — температура воздуха, подаваемого в помещение.

## 5 ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

### 5.1 Основные понятия и определения

В зависимости от вида электроустановки, номинального напряжения, режима нейтрали, условий среды помещения и доступности электрооборудования применяют определенный комплекс необходимых защитных мер, обеспечивающих достаточную безопасность. Применение защитных мер регламентируется Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

Электроустановки различают напряжениям до 1000В и выше 1000В; с изолированной и заземленной нейтралью. В электроустановках применяют следующие технические защитные меры: защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, защитное отключение, малое напряжение и другие.

Наиболее распространенными техническими средствами для защиты людей от поражения электрическим током, при появлении напряжения на нетоковедущих частях оборудования из-за повреждения изоляции, являются *защитное заземление и зануление*.

*Защитным заземлением* называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Безопасность обеспечивается путем заземления корпуса системой *заземлителей*, имеющих малое сопротивление. Защитное заземление применяют в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением свыше 1000 В как с изолированной нейтралью, так и с заземленной нейтралью.

По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов заземления делят на *выносные* и *контурные*. В первом случае заземлители распо-

лагаются на некотором удалении от заземляемого оборудования, во втором - по контуру вокруг заземленного оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. В качестве искусственных заземлителей используют вертикально расположенные стержни из уголкового стали или стальных труб. Заземлители соединяют стальной полосой, которую приваривают к каждому заземлителю. Заземлители с заземляемым оборудованием соединяют при помощи металлических проводников.

*Сопротивления заземления*, согласно ПУЭ, нормируются в зависимости от напряжения электроустановки. В электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление заземления должно быть не выше 4 Ом. Если же суммарная мощность источников (трансформаторов, генераторов), подключенных к сети, не превышает 100 кВА, сопротивление должно быть не больше 10 Ом. В электроустановках напряжением выше 1000 В с малым током замыкания (менее 500 А) допускается сопротивление заземления не более 10 Ом, а с большим (более 500 А) - не выше 0.5 Ом.

*Занулением* называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Цель зануления - обеспечить быстрое отключение установки от сети при замыкании фазы (или фаз) на ее корпус, а также снизить напряжение на корпусе в аварийный период. Это достигается путем превращения замыкания на корпус в *однофазное короткое замыкание* с созданием в этой цепи тока, достаточного для срабатывания защиты. Зануление применяется в трехфазных четырехпроводных сетях напряжением до 1000В с глухозаземленной нейтралью.

Согласно ПУЭ *ток однофазного короткого замыкания* должен превышать не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки или ток срабатывания автоматического выключателя с обратной зависимой от тока характеристикой. При защите сети автоматическими выключателями, имевшими только электромагнитный разделитель, кратность тока выключателей с номинальным током до 100 А следует принимать равной 1,4, а для прочих – 1,25. Полная проводимость *нулевого провода* во всех случаях должна быть не менее 50 % проводимости *фазного провода*. Если эти требования по каким-либо причинам не удовлетворяются, отключение при замыкании на корпус должно обеспечиваться специальными защитами, например, защитным отключением.

## 5.2 Расчет защитного заземления

Цель расчета заземления - определить число и длину вертикальных элементов (стержней), длину горизонтальных элементов (соединительных полос) и разместить заземлители на плане электроустановки, исходя из значений допустимых сопротивления и максимального потенциала заземлителя.

Расчет производится в следующем порядке:

1. Определяется норма сопротивления заземления  $R_n$  (по ПУЭ) в зависимости от напряжения, режима работы нейтрали, мощности и других данных электроустановки;

2. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента

$$\rho_{расч} = \rho_{табл} \cdot \psi, \quad (5.1)$$

где  $\rho_{табл}$  - удельное сопротивление грунта при влажности 10-12 % (см. таблицу 5.1);  $\psi$  - климатический коэффициент (см. таблицу 5.2).

Таблица 5.1 - Значения удельных сопротивлений грунтов

Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м	Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м
Глина	40	Супесок	300
Суглинок	100	Песок	700
Чернозем	200	Скалистый	2000

Таблица 5.2 – Значения климатических коэффициентов и признаки зон

Тип заземлителя	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Вертикальные стержни длиной $l_c = 2-3$ м и при глубине заложения $H_0 = 0,5-0,8$ м	1,8 – 2,0	1,5 – 1,8	1,4 – 1,6	1,2 – 1,4
Горизонтальные полосовые заземлители при глубине заложения $H = 0,8$ м	4,5 – 7,0	3,5 – 4,5	2,0 – 2,5	1,5 – 2,0
Признаки климатических зон				
Средняя температура января, °С	-20 - -15	-14 - -10	-10 - 0	0 - 5
Средняя температура июля, °С	16 - 18	18 - 22	22 - 24	24 - 28

3. Определяется сопротивление одиночного вертикального заземлителя  $R_c$  с учетом удельного сопротивления грунта:

$$R_c = \frac{\rho_{расч}^c}{2\pi l_c} \left( \ln \frac{2l_c}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l_c}{4H - l_c} \right), \quad (5.2)$$

где  $d$  - диаметр стержня, м;  $H = H_0 + l/2$ ;  $l_c, H_0 = 0,5$  м.

4. Учитывая норму сопротивления заземления  $R_n$ , определяют число вертикальных заземлителей без учета взаимного экранирования

$$n = R_c / R_n \quad (5.3)$$

5. Разместив заземлители на плане и задавшись отношением  $\eta$  (отношение расстояния между одиночными заземлителями к их длине  $l_c$ ), определяют (с учетом коэффициента использования вертикальных стержней) окончательно их число  $n_1 = n / \eta_c$  и сопротивление заземлителей - без учета соединительной полосы  $R_{cc} = R_c / (n_1 \cdot \eta_c)$

Таблица 5.3 – Коэффициенты использования  $\eta_c$  вертикальных заземлителей

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число заземлителей n							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Заземлители располагаются в ряд								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	-	-	-
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	-	-	-
Заземлители располагаются по контуру								
1	-	0,69	0,61	0,55	0,47	0,41	0,39	0,36
2	-	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	-	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

6. Определяется сопротивление соединительной полосы  $R_n$

$$R_n = \frac{\rho_{расч}^n}{2\pi l_n} \ln \frac{2l_n^2}{bH_1}, \quad (5.4)$$

где  $l_n = 1,05(\eta - 1) \times S$  - длина соединительной полосы,  $b, H_1$  - ширина и глубина заложения полосы, и с учетом коэффициента использования полосы  $\eta_n$  (см. таблицу 5.4) уточняется  $R'_n = R_n / \eta_n$ .

Таблица 5.4 – Коэффициенты использования  $\eta_n$  горизонтальной полосы, соединяющей вертикальные заземлители

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число вертикальных заземлителей $n_1$							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные заземлители расположены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	-	-	-
Вертикальные заземлители расположены по контуру								
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

7. Определяют общее сопротивление заземляющего устройства и соединяющей полосы

$$R = \frac{R_{cc} + R'_n}{R_{cc} + R_n} \quad (5.5)$$

и проверяют, соответствует ли оно нормативному значению  $R_n$ .

**Пример расчета.** Заземлению подлежит оборудование понижающей подстанции напряжением 6/0,4 кВ. Мощность трансформатора 200 кВА, схема соединения обмоток  $Y/\Delta_n$ , т.е. на стороне высокого напряжения - глухозаземленная нейтраль, низкого - изолированная нейтраль. Грунт - суглинок, климатическая зона - II.

Для заземляющего устройства в качестве вертикальных стержней предполагается использовать угловую сталь с шириной полки 40 мм, длиной 3 м; в качестве соединительной полосы - стальную шину сечением  $40 \times 4$  мм.

1. Токи замыкания на землю в подобных установках меньше 500 А, поэтому для заданной мощности трансформатора нормированное сопротивление заземляющего устройства  $R_n \leq 4$  Ом.

2. Удельное сопротивление грунта  $\rho_{табл} = 100$  Ом·м. С учетом климатических коэффициентов ( $\psi = 1,4$ ;  $\psi_n = 4$ ) расчетные удельные сопротивления  $\rho_c = 100 \cdot 1,4 = 140$  Ом·м,  $\rho_n = 100 \cdot 4 = 400$  Ом·м

3. Эквивалентный диаметр стержней  $d = 0,95 \cdot 0,04 = 0,038$  м. Сопротивление одиночного заземлителя при  $H_0 = 0,5$  м и  $H = 0,5 + 3/2 = 2$  м определяем по формуле (5.2):

$$R_c = \frac{140}{2\pi \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,038} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 40,5 \text{ Ом}$$

4. Без учета взаимного экранирования число заземлителей  $n = 40,5/4 = 10$  шт.

5. Заземляемый объект – небольшое, отдельно стоящее здание, поэтому заземляющее устройство выбираем контурное в виде прямоугольника с ориентировочным соотношением сторон -  $2 \times 3$ .

Исходя из реальных условий, отношение  $S/l$  берем равным 1. Тогда  $\eta_c = 0,55$  (см. таблицу 5.3) и  $n_1 = 10/0,55 = 18$  шт. сопротивление заземлителей  $R_{cc} = 40,5/(18 \cdot 0,55) = 4,1$  Ом.

6. Длина соединительной полосы  $l_n = 1,05 \cdot 17 \cdot 3 = 53,5$  м;  $H_1$  берем равной  $H_0 = 0,5$  м. Тогда сопротивление соединительной полосы равно

$$R_n = \frac{400}{2\pi \cdot 53,5} \ln \frac{2 \cdot 53,5^2}{0,04 \cdot 0,5} = 14,9 \text{ Ом}$$

С учетом коэффициента использования полосы  $\eta_n = 0,28$   $R'_n = 14,9/0,28 = 52,6$  Ом.

7. Общее сопротивление заземляющего устройства находим по формуле (5.5).

$$R = \frac{4,1 \cdot 52,6}{4,1 + 52,6} = 3,8 \text{ Ом}$$

Полученное расчетное сопротивление  $R$  удовлетворяет требованиям ПУЭ:  $R < R_n = 4$  Ом. Стержневые заземлители длиной по 3 м в количестве 18 шт. расположены в контуре прямоугольном размером 11 x 16 м.

### 5.3 Расчет зануления

Цель расчета зануления - определить сечение защитного нулевого провода, удовлетворяющее условию срабатывания максимальной токовой защиты, при известных остальных параметрах сети и заданных параметрах автоматического выключателя или плавкой вставки.

При замыкании на зануленный корпус электроустановки ток короткого замыкания  $I_k$  проходит через следующие участки цепи: обмотки трансформатора  $T_r$ , фазный провод  $B$ , нулевой проводник  $N$ , а также по параллельной ветви: заземление нейтрали  $R_o$ , участок грунта, повторное заземление  $R_n$ . Сопротивление петли "фаза-нуль" обычно не превышает 2 Ом, а сопротивление  $R_o + R_n$ , согласно ПУЭ, должно быть в пределах 7 - 28 Ом в зависимости от напряжения сети. Поэтому ток  $I_z$ , протекающий через землю, много меньше тока  $I_n$ , проходящего по нулевому проводнику, и можно считать  $I_k = I_n$ , Тогда

$$I_k \geq k \cdot I_{ном}, \quad (5.6)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток срабатывания устройства защиты;  $k$  - коэффициент кратности номинального тока.

Значение  $I_{ном}$  определяется мощностью подключенной электроустановки, и выбирается из условия несрабатывания при протекании через них рабочих токов электроустановки. Например, для электродвигателей ток  $I_{ном}$  плавких вставок предохранителей должен в 1,6 - 3 раза превышать номинальные токи.

Расчетный ток короткого замыкания с учетом полного сопротивления петли "фаза-нуль"  $Z_n$  :

$$I_H = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_n} \quad (5.7)$$

где  $U_\phi$  - фазное напряжение сети;  $Z_T$  - сопротивление трансформатора. Значения  $Z_T$  в зависимости от мощности трансформатора  $P$  и схемы соединения обмоток "звезда-звезда"  $Y/Y_n$  или "треугольник-звезда"  $\Delta/Y_n$  с четвертым нулевым защитным проводником с низкой стороны трансформатора приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчетные сопротивления трансформаторов при вторичном напряжении 380/220В

P, кВт	$Z_T$			P, кВт	$Z_T$	
	$Y/Y_n$	$\Delta/Y_n$			$Y/Y_n$	$\Delta/Y_n$
25	3,11	0,906		250	0,312	0,090
40	1,95	0,562		400	0,195	0,056
63	0,80	0,360		630	0,129	0,042
100	0,487	0,266		1000	0,081	0,029
160		0,141		1600	0,054	0,017

Полное сопротивление проводников петли "фаза-нуль"

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (x_\phi + x_n + x_n)^2} \quad (5.8)$$

где  $R_\phi$ ,  $R_n$  - активные сопротивления фазного и нулевого провода;  $x_\phi$ ,  $x_n$  ~ внутренние сопротивления разного и нулевого проводов;  $x_n$  - внешнее индуктивное сопротивление петли "фаза-нуль".

Для медных и алюминиевых проводников фаз по известным данным: сечению  $S_\phi$ , мм<sup>2</sup>, длине  $l$ , м, и удельному сопротивлению проводника  $\rho$ , Ом · мм<sup>2</sup>/м (для меди  $\rho = 0.018$ , а для алюминия  $\rho = 0,028$ ) - определяется сопротивление

$$R_\phi = \rho \cdot l / S_\phi \quad (5.9)$$

Значение  $x_\phi$  для медных и алюминиевых проводников мало, поэтому в формуле (5.8) им можно пренебречь.

Если нулевой защитный проводник выполнен из стали прямоугольного или круглого сечения, то  $R_n = R_1 \cdot l$ ,  $R_\phi = 1$ , где  $R_1$  и  $x_1$  - активное и внутреннее индуктивное сопротивление 1 км проводника, которые указаны в таблице 6.

Они зависят от его профиля и площади сечения  $S_H$ , а также от ожидаемой плотности тока в проводнике  $i_H$  А/мм<sup>2</sup>.

Таблица 5.6 – Значения  $R_1$  и  $x_1$ , Ом/км стальных проводников при переменном токе при частоте 50 Гц

Размеры сечения, мм	$S_H$ , мм <sup>2</sup>	$i_H = 0,5$		$i_H = 1,0$		$i_H = 1,5$		$i_H = 2,0$	
		$R_1$	$x_1$	$R_1$	$x_1$	$R_1$	$x_1$	$R_1$	$x_1$
20x4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78
30x4	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,38	1,43	2,04	1,22
30x5	150	3,38	2,03	2,56	1,54	2,08	1,25	1,60	0,98
40x4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,54	0,92
60x4	200	2,28	1,37	1,79	1,07	1,45	0,87	1,24	0,74
50x5	250	2,10	1,26	1,60	0,96	1,28	0,77	-	-
60x5	300	1,77	1,06	1,34	0,80	1,08	0,65	-	-

$$i_H = I_H / S_H \quad (5.10)$$

При выборе сечения нулевого проводника следует обеспечить  $i_H = 0,5-2,0$  А/мм. Материал и сечение разных проводников выбирают, исходя из мощности потребителей энергии, а материал и сечение нулевого защитного проводника - должны удовлетворять условию

$$Z_H \leq 2 \cdot Z_\phi \quad (5.11)$$

где  $Z_H$  и  $Z_\phi$  - полные сопротивления соответственно нулевого и фазного проводника.

Внешнее индуктивное сопротивление  $Z_\pi$ , Ом, петли "фаза-нуль", если используется воздушная линия электропередачи и частота тока  $f = 50$  Гц, можно определить по формуле

$$x_\pi = 0.1256 \cdot l \cdot \ln(2 \cdot D / d) \quad (5.12)$$

где  $l$  - длина линии, км;  $D$  - расстояние между проводниками линии, м;  $d$  - диаметр проводников, м. Для грубых расчетов используют формулу  $x_\pi = 0.6 \cdot l$ , что соответствует  $D = 1$  м. Для уменьшения значения  $x_\pi$  нулевой защитный проводник следует прикладывать рядом с фазным. Если нулевой проводник является четвертой жилой кабеля или металлической трубой, в которой расположены разные проводники, то  $x_\pi$  мало по величине и им можно пренебречь, в формуле (5.8).

Если источник питания и линия электропередачи заданы, то необходимо выбрать соответствующий автоматический выключатель, используя приведенные выше рекомендации. Если задан автоматический выключатель, тогда

необходимо определить сечение нулевого провода. В обоих случаях проводится расчет на срабатывание выключателя. Если в результате расчета условие (5) выполняется, то расчет окончен, а если не выполняется, то его повторяют, выполнив одно из мероприятий: изменяют параметры выключателя; утолщают нулевой защитный проводник; измеряют параметры фазных проводников.

**Пример расчета.** Электроустановка снабжается энергией от трансформатора мощностью 630 кВА, напряжением 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n$ . Линия 380/220 В протяженностью 300 м состоит из трех проводников сечением  $15 \text{ мм}^2$ , нулевой защитный проводник – стальная полоса сечением  $50 \times 4$  – проложена в 20 см от фазных проводников. Проверить обеспечивается ли отключающая способность зануления распределительного щитка, если в качестве защиты используется автоматический выключатель с  $I_{ном} = 60 \text{ А}$ .

1. Определяем по формуле (5.6) для автоматического выключателя  $I_k = 1,4 \cdot 60 = 84 \text{ А}$ .

2. По таблице 5.5 находим сопротивление обмоток трансформатора  $Z_T = 0,129 \text{ Ом}$ .

Далее рассчитываем по формуле (5.10) полное сопротивление петли "фаза- нуль".

3. По формуле (5.10) находим при  $l = 300 \text{ м}$   $R_\phi = 0,028 \cdot 300/15 = 0,56 \text{ Ом}$ .

4. Согласно формуле (5.11)  $i_n = 84/(50 \cdot 4) = 0,42 \text{ А/мм}^2$ . Считая  $i_n = 0,5$ , по табл.6 для нулевого защитного проводника находим  $R_1 = 2,28 \text{ Ом/км}$ ,  $x_1 = 1,37 \text{ Ом/км}$ . Тогда  $R_n = 2,28 \cdot 0,3 = 0,684 \text{ Ом}$ ;  $x_y = 1,73 \cdot 0,3 = 0,411 \text{ Ом}$ .

5. Условие (5.12) выполняется:  $Z_n = 0,8 < 2$ ;  $Z_\phi = 1,1$ .

6. Внешнее индуктивное сопротивление проводников согласно формуле (5.12) берем с запасом ( $d = 2 \sqrt{S_\phi / \pi}$ ):  $x_n = 0,1256 \cdot 0,3 \cdot \ln(2 \cdot 0,2/0,00564) = 0161 \text{ Ом}$ .

7. По формуле (5.8) находим  $Z_n = 1,37 \text{ Ом}$ , затем по формуле (5.7) определяем  $I_n = 156 \text{ А}$ . Следовательно условие (5.6) выполняется, и отключение распределительного щитка в аварийной ситуации также обеспечивается.

### Контрольные вопросы

1. Чем шум отличается от звука ?
2. Что такое звуковое давление и в каких единицах оно измеряется?
3. Как называется область среды, в которой распространяются звуковые волны?
4. Дайте определение интенсивности звука.
5. Напишите выражение для уровня интенсивности шума
6. Что мы называем спектром шума?
7. Какие строительно-акустические методы борьбы с шумом Вы знаете?
8. В чем заключается механизм передачи звука через ограждение?
9. Чем вызвано звукоизолирующее действие ограждающей конструкции?

10. В чем заключается механизм звукопоглощения?
11. Относится ли шум к электромагнитным волнам ?
12. Какие характеристики вибрации используются в санитарном нормировании?
13. Чем отличается локальная вибрация от общей вибрации?
14. Какой диапазон электромагнитных волн называется видимым светом?
15. Что такое световой поток, и в каких единицах он измеряется?
16. Какой фон считают светлым, средним и темным?
17. Дайте определение освещенности.
18. Дайте определение местной и общеобменной вентиляции
19. Что такое аспирация?
20. Для чего используют аварийную вытяжную вентиляцию?
21. Какие технические защитные меры применяют в электроустановках?
22. Назовите наиболее распространенные технические средства для защиты людей от поражения электрическим током, при появлении напряжения на нетоковедущих частях оборудования из-за повреждения изоляции?
23. Что называется защитным заземлением?
24. Что называется занулением?

## **6 УКАЗАНИЯ К НАПИСАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

1. В качестве курсовой работы студентам предлагается выполнить по пять заданий, варианты которых даны в **Приложении Б**. Номер, выполняемого варианта, определяется последней цифрой шифра студенческого билета. К примеру, студенты, у которых шифр студенческих билетов оканчивается цифрой 1, выполняют задания по первому варианту, цифрой 0 - по десятому варианту и т.п.

2. Текст курсовой работы должен быть набран на компьютере (интервал – одинарный, кегель – 14) на листах формата А4 с одной стороны. Допускаются рукописные ответы, но и в этом случае титульный лист желательно сделать на компьютере. Пример оформления титульного листа курсовой работы дан в **Приложении В**.

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Русак О. Н. , Малаян К. Р., Занько Н. Г. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие / Под ред. О.Н. Русака. – СПб: Изд-во «Лань», 2000. - 448 с.
2. Безопасность жизнедеятельности.: Учеб. для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. Ред. С.В. Белова. - М.: Высшая школа, 1999. – 345 с.
3. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: Учебное пособие / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, И. Л. Пономарев, Н. И. Сердюк- М.: Высшая

школа, 1999. – 314 с.

4. Дьяков В.И. Безопасность жизнедеятельности. Общие вопросы БЖД в условиях производства и природные аспекты БЖД / ИГЭУ. Иваново, 2000.

5. Дьяков В.И., Горбунов А.Г. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Курс лекций / ИГЭУ. Иваново, 2001.

6. Охрана труда в химической промышленности. / Г.В. Макаров и др. - М.: Химия, 1977.-586 с.

7. Перелет Р.А., Сергеев Г.С. Технологический риск и обеспечение безопасности производства. — М.: Знание. - 1988.

8. Защита от шума и вибрации в черной металлургии./ Заборов В.И., Клячко Л.Н., Росин Г.С. -М.: Металлургия, 1988. - 216с.

9. Карпов Ю. В., Дворянцева Л. А. Защита от шума и вибрации на предприятиях химической промышленности - М.: Химия, 1991 - 120 с.

Заочное  
Заочное отделение

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровня для основных видов трудовой деятельности

№ п/п	Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, программирование, преподавание и обучение.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Высококвалифицированная работа, рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на выч. машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4	Рабочие места за пультами в кабинетах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием	103	91	83	77	70	68	66	66	64	75

№ п/п	Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
5	Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1- 4) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица А2 – Коэффициент звукопоглощения различных материалов

№ в-та	Материал, изделие, конструкция, размеры	Толщина, мм	Коэффициент звукопоглощения ( $\alpha_{обл}$ ) при среднегеометрической частоте октавной полосы								
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1.	Плиты марки ПА/О с несквозной перфорацией размером 500 x 500 мм	20	0,01	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,20
2.	Плиты марки ПА – С	20	0,01	0,02	0,05	0,43	0,98	0,90	0,79	0,45	0,19
3.	Минераловатные акустические плиты	20	0,15	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,70
4.	Акустические плиты “Акминит”	20	0,15	0,02	0,11	0,30	0,85	0,90	0,78	0,73	0,59
5.	Акустические плиты “Акмигран”	20	0,15	0,02	0,11	0,30	0,85	0,90	0,78	0,78	0,59

№ в-та	Материал, изделие, конструкция, размеры	Толщина, мм	Коэффициент звукопоглощения ( $\alpha_{обл}$ ) при среднегеометрической частоте октавной полосы								
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
6.	Плита АГП гипсовая с заполнением из минеральной ваты	20	0,01	0,03	0,09	0,26	0,54	0,94	0,67	0,40	0,39
7.	Минераловатная плита	60	0,01	0,01	0,31	0,70	0,95	1,00	0,69	0,50	0,30
8.	Стеклоткань типа Э – 01	60	0,05	0,10	0,31	0,70	0,95	0,69	0,59	0,50	0,30
9.	Стальной войлок	30	0,15	0,30	0,35	0,36	0,40	0,50	0,75	0,70	0,68
12.	Супер тонкое стекловолокно	100	0,10	0,15	0,47	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96

Таблица А3 – Характеристика источника шума (Задание 1), уровень звукового давления в помещении (Задание 2)

№ в-та	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	107	118	119	112	116	111	103	97	65	118
2	88	95	100	103	107	107	107	103	96	111
3	103	127	125	123	129	123	120	114	103	126
4	98	106	108	107	106	102	98	95	87	108
5	99	110	113	121	119	118	117	117	114	126
6	97	103	103	107	104	107	102	95	81	109
7	94	97	108	107	109	109	105	96	88	113
8	97	100	104	104	97	95	88	81	71	107
9	94	105	108	110	11	112	113	115	114	116
10	92	108	110	110	108	105	101	94	95	114

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Варианты заданий

**Задание 1.** Рассчитать требуемую звукоизоляцию ограждения ( $R_{Ti}$ ) во всех октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Варианты заданий представлены в таблице Б1. Характеристика источника шума для каждого варианта приведена в таблице А3 Приложения А. Во всех вариантах задания принимать  $n = 1$ .

Таблица Б1 - Варианты задания 1

№	Размеры изолируемого помещения, м	Характер изолируемого помещения	Местонахождение Источника шума
1	84 x 18 x 8	Производственное помещение	вне помещения на промплощадке
2	18x 6 x 6	Административные службы	В смежном помещении
3	24 x 12 x 6	Операторская	В смежном помещении
4	32 x 24 x 8	Производственное помещение	В смежном помещении
5	18 x 9 x 6	Лаборатория	В смежном помещении
6	38 x 21 x 9	Производственное помещение	В смежном помещении
7	18 x 9 x 6	Диспетчерская служба	В смежном помещении
8	15 x 6 x 6	Кабина наблюдения	В смежном помещении
9	18 x 9 x 6	Конструкторское бюро	В смежном помещении
10	21 x 9 x 6	Производственное помещение	вне помещения на промплощадке

**Задание 2.** Определить снижение шума в производственном помещении во всех октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц при использовании звукопоглощающих материалов. Звукопоглощающий материал для каждого варианта и его характеристика приведены в таблице 2А Приложения А. Варианты заданий представлены в таблицах Б2 и Б3.

Таблица Б2 – Варианты задания 2

№ варианта	Размеры производственного помещения, м			Площадь облицовки, кв.м
	Длина	Ширина	Высота	
1	96	21	7,0	2700

№ варианта	Размеры производственного помещения, м			Площадь облицовки, кв.м
	Длина	Ширина	Высота	
2	75	18	6,2	2048
3	60	12	5,0	1048
4	84	24	7,8	2200
5	100	18	6,0	2600
6	120	21	8,5	3100
7	105	18	10,0	3200
8	85	12	6,0	1902
9	60	12	6,0	1300
10	150	30	12,0	4010

Таблица Б3 – Описание помещения

№ варианта	Описание помещения
1, 2, 3, 4, 5	С небольшим числом людей ( металлургическое производство, металлообрабатывающие цеха, машинные залы и т. п. )
6, 7, 8, 9,10	С жесткой мебелью и большим числом людей или с небольшим числом людей и мягкой мебелью ( лаборатории, кабинеты, деревообрабатывающие цехи и т. п. )

**Задание 3.** Агрегат массой  $m$  кг, имеющий скорость вращения электродвигателя  $n$  об/мин, создает на посту управления (на основной частоте в третьоктавном спектре) уровень виброскорости  $L_V$  дБ. Рассчитать резинометаллические виброизоляторы для снижения вибрации до нормативных значений. Исходные данные для расчетов приведены в таблице Б4.

Таблица Б4 – Исходные данные для расчетов (Задание 3)

№ варианта	$m$ , кг	$L$ , дБ	$n$ об/мин	$N$ , шт
1	800	96,0	1860	4
2	850	96,5	3000	6
3	900	97,0	2400	4
4	1000	97,5	1860	6
5	1050	96,0	3000	4
6	1100	96,5	2400	4
7	1150	97,0	1920	6
8	950	97,5	1860	4
9	1200	96,5	3000	6
10	1000	97,0	2400	4

**Задание 4.** Определите количество светильников и общую мощность осветительной установки, обеспечивающей необходимую освещенность при общем искусственном освещении помещения, характеристика которого приведена в таблице Б5.

**Задание 5.** Определите количество воздуха, которое необходимо заменять для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне. Исходные данные для расчетов приведены в таблице Б6.

Заочное отделение

Заочное отделение

Таблица Б5 – Исходные данные для выполнения задания 3

В т №	Характеристика воздушной среды производственного помещения	А, м	В, м	Н <sub>св</sub> , м	$\rho_{ном}$ %	$\rho_{см}$ %	Z	Разряд зрительных работ	Тип светильника	Тип и мощность источника освещения	п, т
1	свыше $5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	18	30	16	30	10	1,15	VII	С35ДРЛ	ДРЛ 700	1
2	$1 - 5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	12	24	3	50	30	1,1	IVб	ПВЛ	ЛБ 65	2
3	свыше $5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	14	24	14	30	10	1,15	VII	СЗДРЛ	ДРЛ 250	1
4	$1 - 5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	12	30	3	50	30	1,1	VI	ЛСП14	ЛР 40	2
5	свыше $5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	24	24	10	30	10	1,15	VII	РСП10	ДРЛ 50	1
6	значительные концентрации паров кислот, щелочей, газов	12	14	3	50	30	1,1	IIIб	ЛСП14	ЛД 40	2
7	$1 - 5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	12	16	3	50	30	1,15	IIв	НСП	БК 150	1
8	свыше $5 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	12	12	5	50	30	1,15	IIIб	НСП	Г 300	1
9	$1 \frac{мг}{м^3}$ пыли, дыма, копоти	14	24	4	70	50	1,1	Iб	ПВЛ	ЛБ 80	2
10	значительные концентрации паров кислот, щелочей, газов	12	30	7	30	10	1,15	IVб	РСП13	ДРЛ 50	1

Таблица Б6 – Исходные данные для расчетов (Задание 5)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество вредных веществ, выделяющихся в рабочее помещение, кг/ч:										
Оксид углерода	0,15	0,35	0,28	0,35	1,5	0,35	0,32	1,4	0,35	0,45
Ацетон	2,0	1,80	3,5	1,7	12,0	16,8	3,5	10	1,6	1,7
Диоксида азота	0,03	0,15	0,018	0,14	0,04	0,12	0,015	0,04	0,14	0,12
Концентрация вредных веществ в подаваемом в цех воздухе, мг/м <sup>3</sup> :										
Оксид углерода	5	4	3	5	1	5	4	3	2	4
Ацетон	10	12	25	10	12	10	12	25	10	12
Диоксида азота	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4
Выделяющаяся в помещение влага, кг/ч	60	90	160	200	160	600	120	160	200	160
Влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, г/м <sup>3</sup>	16	15	14	15	16	15	14	15	15	16
Влагосодержание воздуха, поступающего в помещение, г/м <sup>3</sup>	10	9	8	9	10	9	8	9	9	10
Количество избыточного тепла, кВт	45	80	200	100	70	45	80	200	100	70
Температура воздуха, уходящего из помещения, °С	25	22	21	25	22	21	21	25	22	21
Температура воздуха, подаваемого в помещение, °С	12	15	12	12	15	12	12	12	15	12

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Образец оформления титульного листа курсовой работы

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет)

Кафедра инженерной защиты окружающей среды

Факультет \_\_\_\_  
Курс \_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_

Учебная дисциплина: Безопасность жизнедеятельности

### КУРСОВАЯ РАБОТА

Тема: **Безопасность жизнедеятельности в условиях производства**

Студент

(подпись)

А.А.Иванова

Руководитель работы  
доцент, канд.хим.наук

(подпись)

В.В.Петров

Оценка за курсовую работу (оценка)

(подпись руководителя)

Санкт-Петербург  
2008 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение. . . . .	3
1 Защита от шума. . . . .	3
1.1 Основные понятия и определения. . . . .	3
1.2 Определение уровней звукового давления на рабочих местах. . . . .	5
1.3 Строительно – акустические методы борьбы с шумом. . . . .	7
2 Защита от вибрации. . . . .	11
2.1 Основные понятия и определения. . . . .	11
2.2 Расчет резинометаллических виброизоляторов. . . . .	15
2.3 Расчет пружинных виброизоляторов. . . . .	17
3 Освещение производственных помещений. . . . .	20
3.1 Основные понятия и определения. . . . .	20
3.2 Расчет количественных характеристик искусственного освещения	21
4 Вентиляция производственных помещений. . . . .	27
4.1 Основные понятия и определения. . . . .	27
4.2 Общеобменная вентиляция. . . . .	28
5 Защита от поражения электрическим током. . . . .	30
5.1 Основные понятия и определения. . . . .	30
5.2 Расчет защитного заземления. . . . .	31
5.3 Расчет зануления. . . . .	35
Контрольные вопросы . . . . .	38
6 Указания к написанию и оформлению курсовой работы. . . . .	39
Рекомендуемая литература . . . . .	39
Приложение А. . . . .	41
Приложение Б. Варианты заданий. . . . .	44
Приложение В. Пример оформления титульного листа курсовой работы .	49

Кафедра инженерной защиты окружающей среды

Методические указания

*Безопасность жизнедеятельности*

Григорий Константинович Ивахнюк

Александр Григорьевич Антоненков

Владислав Иванович Редин

---

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60x90.<sup>1</sup>/16

Печ. л. 2,5.

Тираж 100 экз.

---

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет)

---

198013, СПб, Московский пр., 26