

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

Учебно-методическое пособие

Часть 1

**к выполнению практических работ и курсовых проектов
по дисциплине «Производственная санитария и гигиена труда»
для студентов заочной формы обучения направления подготовки
20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль подготовки
«Безопасность технологических процессов и производств»**

Нижний Новгород 2023

Составители: В.М. Смирнова, И.Г. Трунова

УДК 65.9(2)248

Учебно-методическое пособие (часть 1) к выполнению практических работ и курсовых проектов по дисциплине «Производственная санитария и гигиена труда» для студентов заочной формы обучения направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль подготовки «Безопасность технологических процессов и производств»/ НГТУ им. Р.Е. Алексеева; сост.: В.М. Смирнова, И.Г. Трунова. Н. Новгород, 2023. - 42с.

С целью формирования компетенций в сфере профессиональной деятельности в пособии представлены методики решения практических задач по производственной санитарии и гигиене труда. Указаны исходные данные к решению задач по вариантам. Знакомство с нижеприведенными методиками способствует более глубокому освоению теоретического курса и позволяет получить навыки решения практических задач по улучшению условий труда на рабочих местах. Пособие может быть использовано при выполнении курсового проекта по дисциплине Производственная санитария и гигиена труда. Учебно-методическое пособие может быть использовано студентами всех специальностей и форм обучения при углубленном изучении курса БЖД.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подписано в печать 11.12.2023 Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага газетная.

Печать трафаретная. Усл. п. л. 3. Тираж 100 экз. Заказ №

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ. 603155, г. Нижний Новгород, ул. К. Минина, 24.

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2023

Раздел 1. ЗАЩИТА ОТ ШУМА

1.1. Краткие сведения из теории

Источниками шума и вибрации на предприятиях могут являться станочное, кузнечнопрессовое оборудование, энергетические установки, компрессорные и насосные станции, вентиляционные установки, стендовые испытания двигателей внутреннего сгорания и др. Уровень шума на рабочих местах в производственных помещениях, возникающих от этих источников, обычно значительно превышает допустимые значения. Поэтому при проектировании производственных процессов необходимым условием является определение ожидаемых уровней шума на рабочих местах с помощью акустического расчёта и разработки на его основе средств и методов защиты от шума.

Шум определяется как совокупность звуков и характеризуется частотой f , интенсивностью I и звуковым давлением P .

Звуковым давлением называется разность между мгновенным значением давления при распространении звуковой волны и средним значением давления в невозмущенной среде. Единица измерения звукового давления – Па (Н/м^2).

При распространении звуковой волны происходит перенос кинетической энергии, величина которой определяется интенсивностью звука. Интенсивность звука определяется средней по времени энергией, переносимой звуковой волной в единицу времени сквозь единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны. Единица измерения интенсивности звука - Вт/м^2 .

Для оценки влияния шума на организм человека используются логарифмические величины - уровни звукового давления и интенсивности звука.

Уровень звукового давления может быть определен по формуле

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1)$$

где $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па - пороговое звуковое давление на частоте 1000 Гц.

Снижение шума ΔL определяется разностью начального и конечного уровней в дБ.

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 20 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}. \quad (2)$$

Суммарный уровень шума от нескольких источников находится сложением их интенсивностей звука.

$$I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N \quad (3)$$

и определяется выражением

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i}, \quad (4)$$

где L_i - уровень звукового давления, создаваемый i -м источником, n - количество источников шума.

Органы слуха человека способны воспринимать звуки в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц. При измерении и анализе шума весь диапазон частот разбивают на октавы - интервалы частот, где верхняя частота больше нижней в 2 раза:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2. \quad (5)$$

В качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота: $f_{cp} = \sqrt{f_1 f_2}$.

Предупреждение неблагоприятного воздействия шума на организм человека основано на его гигиеническом нормировании, целью которого является обоснование допустимых уровней, обеспечивающих предупреждение функциональных расстройств и заболеваний. В качестве критерия нормирования используются предельно допустимые уровни (ПДУ).

Предельно допустимый уровень шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Нормирование шума производится по комплексу показателей с учетом их гигиенической значимости на основании СанПиН 1.2.3685 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Гигиеническими нормативами, используемыми для оценки уровней воздействия шума на рабочих местах, являются:

- эквивалентный уровень звука ($LpAeqT$, дБА), уровень воздействующий на работающего за рабочую смену (измеренный или рассчитанный относительно 8 ч рабочей смены);
- максимальные уровни звука A , измеренные с временными коррекциями S и I ($LpA \max$) - наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартной временной коррекцией;
- пиковый скорректированный по C уровень звука ($LpC \ peak$), дБС - C - взвешенное наибольшее значение за время измерений.

Нормативным эквивалентным уровнем звука ($LpAeqT$, дБА), на рабочих местах, является 80 дБА. Максимальными уровнями звука А, измеренными с временными коррекциями S и I , являются 110 дБА и 125 дБА соответственно. Пиковым скорректированным по C уровнем звука ($LpC peak$), дБС является 137 дБС.

Частотный состав шума, действующего на работника на его рабочем месте и способного привести к развитию профессионального заболевания, в существенной степени определяет возможный характер этого заболевания, а также в какой из систем организма с наибольшей вероятностью будут наблюдаться патологические изменения. Поэтому знание частотного состава шума может быть использовано для выбора методов и средств снижения шума на рабочем месте, а также для подбора соответствующего индивидуального средства защиты от шума.

Нормируемые параметры шума в октавных полосах частот в помещениях жилых и общественных зданий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Нормируемые параметры шума в октавных полосах частот, эквивалентных и максимальных уровней звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на селитебной территории

Назначение помещений или территорий	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления) L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука L_a , дБА	Максимальный уровень звука, дБА $L_{a max}$
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
2. Рабочие помещения диспетчерских служб	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65	75
3. Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	90
4. Физическая работа, связанная с точностью, сосредоточенностью	96	94	87	82	78	75	73	71	70	80	95

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
или периодическим слуховым контролем											
5. Умственная работа по точному графику с инструкцией (операторская), точная категория зрительных работ	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65	80
6. Труд высших производственных руководителей, связанных с контролем группы людей, выполняющих преимущественно умственную работу	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65
7. Высоко квалифицированная умственная работа, требующая сосредоточенности; труд, связанный исключительно с разговорами по средствам связи	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55	65

Нормируемые параметры шума в октавных полосах частот рабочих местах и местах размещения обслуживающего персонала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Предельно допустимые уровни звука и звукового давления в октавных полосах частот на рабочих местах и местах размещения обслуживающего персонала специального подвижного состава

Назначение помещений	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления) L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука L_a , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кабины управления технологическим процессом										
с ПК на рабочих местах	99	91	83	77	73	70	68	66	64	75

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
без ПК на рабочих местах	99	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Служебные помещения

с ПК на рабочих местах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
без ПК на рабочих местах	99	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Мастерские	99	95	87	82	78	75	73	71	69	80

1.2. Расчет требуемого снижения уровня звукового давления в расчётных точках

Требуемое снижение уровня звукового давления в расчётной точке от одного источника шума определяется как разность между ожидаемым уровнем звукового давления в расчётной точке и допустимым уровнем $L_{\text{доп}}$:

$$\Delta L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}}, \quad (6)$$

где L - октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука от этого источника шума, дБА, рассчитанный в расчётной точке; $L_{\text{доп}}$ - допустимый октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА (определяют по табл. 1, 2).

Если в расчётную точку попадает шум от нескольких источников, то рассчитываются уровни звукового давления каждого источника. Для одинаковых источников, отличающихся по уровням менее чем на 10 дБ, требуемое снижение уровней звукового давления в расчётной точке для каждого источника определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{тр},i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n, \quad (7)$$

где L_i - ожидаемый октавный уровень звукового давления, создаваемый рассматриваемым источником шума в расчётной точке, дБ; n - общее число источников шума, учитываемых при расчете суммарного уровня в расчётной точке.

Чтобы уменьшить шум в помещении с источниками его излучения, используются следующие строительно-акустические мероприятия:

- кабины наблюдения, дистанционного управления и специальные боксы для наиболее шумного оборудования;
- звукоизолирующие кожухи, акустические экраны и выгородки;
- вибродемпфирующие покрытия на вибрирующие поверхности;

- звукопоглощающие облицовки потолка и стен или штучные звукопоглотители;
- звукоизолированные кабины и зоны отдыха для обслуживающего персонала.

1.3. Звукопоглощающие облицовки

Одним из способов снижения шума в помещениях является их акустическая обработка. Это - облицовка части внутренних поверхностей ограждений помещений звукопоглощающим материалом или специальной звукопоглощающей конструкцией, а также размещения в помещении штучных звукопоглотителей. Наибольший акустический эффект можно получить в точках, расположенных в зоне отраженного звука. Акустический эффект звукопоглощающей обработки помещения в точках, удаленных от источников, в основном зависит от акустических характеристик помещения до обработки и акустических характеристик звукопоглощающих конструкций.

Звукопоглощающие облицовки, как правило, размещают на потолке и стенах (иногда верхних частях стен). Для достижений максимально возможного поглощения рекомендуется облицовывать не менее 60% общей площади внутренних поверхностей помещения бокса. При выборе конструкции облицовки необходимо учитывать спектр шума с тем, чтобы обеспечить максимальное звукопоглощение в заданном диапазоне частот и данные условия «работы» облицовки (возможность механического повреждения облицовки, необходимость ее периодической очистки, наличие вибраций, паров масла и т.д.).

В относительно низких (менее 6 м) и протяженных помещениях облицовки рекомендуется размещать на потолке.

В узких и очень высоких помещениях целесообразно размещать акустическую облицовку на стенах, оставляя только их нижние части (2 м высотой) необлицованными.

В помещениях высотой более 6 м следует предусматривать устройство подвесного звукопоглощающего потолка.

Снижение шума в акустически обработанном помещении (в зоне отраженного звука) обычно составляет 6-15 дБ в области средних и высоких частот, где применение звукопоглощающей облицовка наиболее эффективно.

Снижение уровня звукового давления за счет установки звукопоглощающей облицовки определяется по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_1}{A_2}, \quad (8)$$

где A_1 и A_2 - суммарное звукопоглощение до и после применения звукопоглощающей облицовки соответственно, рассчитываемое следующим образом:

$$A = S_{\text{пом}} \cdot \alpha_{1i}, \quad (9)$$

где $S_{\text{пом}}$ - суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения; α_{1i} - реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной облицовки в октавных полосах частот.

1.4. Акустические экраны

Акустические экраны целесообразно применять, когда в расчетной точке уровень звукового давления прямого звука от рассматриваемого источника существенно выше, чем уровни звукового давления, создаваемого в той же точке соседними источниками шума и отраженным звуком. Экран устанавливается между источником шума и расчетной точкой, что обеспечивает снижение УЗД прямого звука излучающего источника. Снижение УЗД прямого звука ($\Delta L_{\text{экр}}$) в расчетной точке, расположенной за экраном, называется акустической эффективностью экрана.

Для источников с примерно равномерным излучением шума уровень звукового давления прямого звука i -го источника в расчетной точке определяется по формуле

$$L_{\text{пр}} = L_{Pi} - 20 \lg r_i - 8, \text{ дБ}, \quad (10)$$

где L_{Pi} - уровень звуковой мощности рассматриваемого источника шума, дБ; r_i - расстояние от акустического центра до расчетной точки, м.

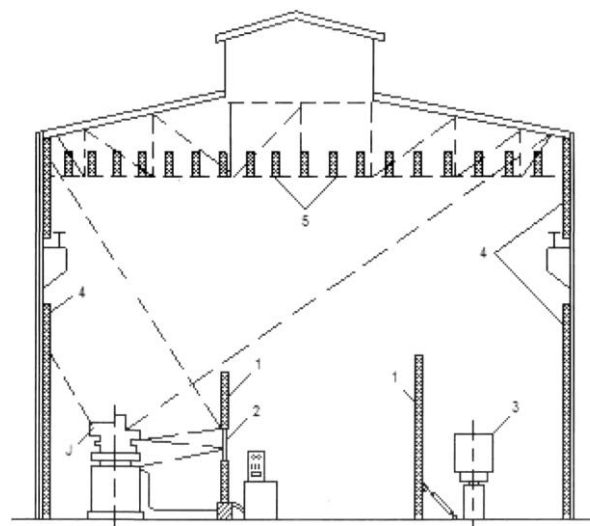


Рис. 1. Применение акустических экранов в сочетании с акустической обработкой помещения: 1 – акустический экран со звукопоглощающей облицовкой; 2 – смотровое окно; 3 – источник шума; 4 – звукопоглощающая облицовка; 5 – звукопоглощающие кулисы в межферменном пространстве

В акустически необработанных помещениях применение экранов будет малоэффективно. Поэтому акустические экраны должны применяться в сочетании с акустической обработкой помещения.

Экраны могут быть изготовлены из стальных или алюминиевых листов толщиной 1,5-2 мм. По периметру листов предусматривается профиль, придающий жесткость конструкции и представляющий собой опору для крепления перфорированного листа, закрывающего звукопоглощающий материал, толщиной около 50 мм.

Задача №1. РАСЧЕТ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

1. Цель работы: оценить эффективность применения звукопоглощающих материалов для производственного помещения.

2. Исходные данные и постановка задачи

2.1. Стены помещения – кирпичные, оштукатуренные и окрашены масляной краской;

потолок – бетонный;

пол - бетонный.

2.2. Дать эскиз расчетной схемы конструкции

2.3. Определить:

- уровень звукового давления в производственном помещении для каждой октавной полосы до облицовки помещения звукопоглощающим материалом;
- то же, после облицовки;
- оценить снижение шума для всех октавных полос.

2.4. Полученные результаты свести в таблицу и полученные значения уровня шума сравнить с гигиеническими нормативами. Сделать выводы.

3. Указания к решению задачи

3.1 Выполняем эскиз звукопоглощающей конструкции:

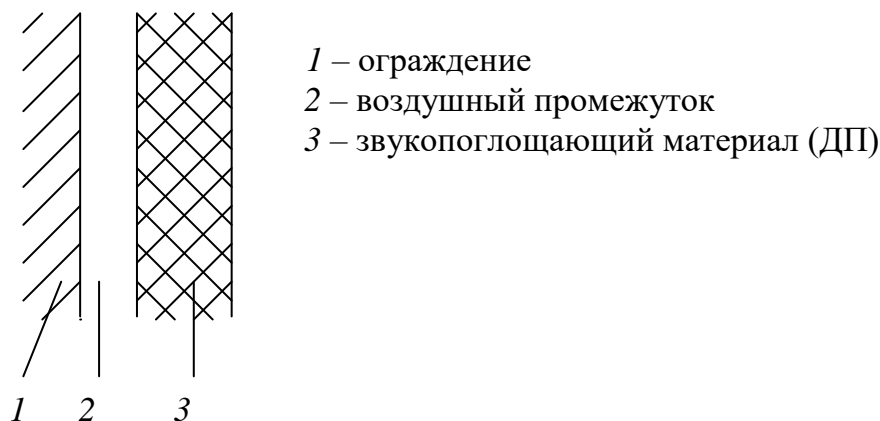


Рис. 2. Эскиз звукопоглощающей конструкции

3.2. Определяем необходимое снижение уровней звукового давления для каждой октавной полосы частот:

для этого находим разницу между значениями допустимых уровней звукового давления и значениями уровней звукового давления от источника шума по уравнению б.

3.3. Определяем суммарное звукопоглощение до и после облицовки помещения для каждой октавной полосы частот A_1 и A_2 . Из табл. 3 находим коэффициенты звукопоглощения α ограждающих конструкций.

Умножением площадей ограждений на соответствующие им коэффициенты звукопоглощения рассчитываем для всех октавных полос общее звукопоглощение в помещении станции до облицовки A_1 и после облицовки A_2 :

$$A_i = \sum \alpha_i S_i, \quad (10)$$

где A_i – общее (суммарное) звукопоглощение (рассчитывается для каждой октавной полосы); α_i - коэффициент звукопоглощения (выбирается для каждой октавной полосы соответствующего вида ограждения); S_i – площадь ограждения (определяется для каждого вида ограждения).

Таблица 3

Коэффициенты звукопоглощения α для среднегеометрических частот, Гц

Звукопоглощающий материал	Коэффициент звукопоглощения α								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стена кирпичная оштукатуренная и окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Бетон	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Паркет по деревянному основанию	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,06	0,05
Пол дощатый на деревянных балках	0,12	0,12	0,12	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,06
Древесноволокнистые плиты толщиной 12мм, с зазором 50мм (ДВП)	0,20	0,20	0,22	0,30	0,34	0,32	0,41	0,42	0,42
Акустический фибролит, толщиной 35 мм, с зазором 150 мм (АФ)	0,10	0,10	0,13	0,42	0,53	0,53	0,53	0,63	0,56
AMF Thermatex Alpha One 200мм (АМФ)	0,2	0,31	0,48	0,55	0,85	1,00	0,95	1,00	1,00
Фанера, толщиной 6 мм с									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
заполнителем, толщиной 100 мм (Ф-10)	0,42	0,44	0,53	0,35	0,21	0,12	0,06	0,12	0,12
Фанера 6 мм, на расстоянии 5 см от стены (Ф-5)	0,45	0,49	0,57	0,63	0,42	0,35	0,12	0,08	0,08
Штукатурка акустическая из тонкогранулированной минеральной ваты (ША)	0,5	0,48	0,54	0,21	0,29	0,42	0,48	0,47	0,45
Ковровое покрытие (КП)	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,20	0,26	0,27	0,37
Линолеум (Л)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Acoustic Wool Perfect 100 мм, акустическая минеральная вата (АВП)	0,21	0,44	0,58	0,75	1,00	1,00	0,95	0,85	0,70
Кнауф акустика 12/25-каркас 200мм-минвата (КА)	0,33	0,41	0,55	0,55	0,85	0,90	0,80	0,65	0,60

3.4. Находим величину снижения шума в помещении по формуле

$$\Delta L = 10 \lg A_2 / A_1. \quad (11)$$

3.5. Определяем фактический уровень шума в служебном помещении:

$$L_{\text{факт}} = L_{\text{ист}} - \Delta L. \quad (12)$$

3.6 Сравниваем фактический уровень шума с допустимым и делаем выводы по эффективности звукопоглощающих облицовок.

3.4. Результаты расчетов оформляем в виде таблицы (табл. 4). Исходные данные для расчетов выбираем из табл.5, 6.

Таблица 4

Результаты расчетов

Параметры	Уровень звукового давления L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p , дБ									
$L_{\text{допустимый}}$									
ΔL									
A_1 (до облицовки)									
A_2 (после облицовки)									
$\Delta L_{\text{факт}}$									
$L_{\text{факт}}$									

4. Исходные данные для решения задачи

Таблица 5

Уровни звукового давления в октавных полосах частот

Вариант	Уровень звукового давления L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	110	100	112	98	96	100	110	90	85
2	83	74	68	63	60	65	55	61	57
3	89	66	66	58	52	49	44	41	40
4	89	79	68	63	58	52	51	47	44
5	88	72	70	66	61	67	58	52	56
6	85	63	69	63	58	48	42	44	38
7	96	98	94	92	88	86	84	82	78
8	96	98	94	92	88	86	84	82	78
9	78	79	82	76	70	69	68	66	63
10	70	75	74	76	68	66	65	64	62
11	88	86	82	80	78	74	74	72	70
12	85	84	82	84	80	78	76	74	71
13	84	85	78	80	78	74	73	72	70
14	106	110	112	98	96	100	98	90	84
15	104	102	96	90	85	84	82	76	74

Таблица 6

Вид трудовой деятельности и параметры помещения

Вариант	Вид трудовой деятельности	Размеры помещения, м			Материал		
		длина	ширина	высота	пол	стены	потолок
1	2	3	4	5	6	7	
1	Физическая работа	12	14	3,0	бетон	ША	АМФ
2	Умственная работа	12	16	3,2	паркет	ДВП	КА
3	Труд высших производственных руководителей	12	18	3,4	КП	КА	АМФ
4	Высококвалифицированная умственная работа	12	20	3,6	Л	АWP	АМФ
5	Умственная работа	14	14	3,8	Л	АWP	АМФ
6	Труд высших производственных руководителей	14	16	4,0	паркет	АМФ	КА
7	Физическая работа	14	18	3,8	бетон	ША	АМФ
8	Кабины управления технологическим процессом без ПК на рабочих местах	5	5	3	дощатый	ША	КА

1	2	3	4	5	6	7	8
9	Кабины управления технологическим процессом с ПК на рабочих местах	5	5	3,5	доштатый	ДВП	КА
10	Служебные помещения с ПК на рабочих местах	6	7	3	Л	КА	КА
11	Служебные помещения без ПК на рабочих местах	6	7	3,5	доштатый	АВП	АФ
12	Служебные помещения Мастерские	5	8	3,5	бетон	АВП	АМФ
13	Служебные помещения Мастерские	4	7	3,0	бетон	АМФ	АФ
14	Служебные помещения Мастерские	5	4	3,0	бетон	ША	АМФ
15	Кабины управления технологическим процессом без ПК на рабочих местах	4	4	3	бетон	АМФ	АМФ

Задача № 2. РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНА

1. Цель работы: произвести проверочный расчет снижения уровня шума в помещении дежурного персонала со стороны вентиляционной камеры за счет экрана (установки сплошной железобетонной стены).

2. Постановка задачи

2.1 Дать эскиз расчетной схемы экрана.

2.1.1 Принять, что расчетная точка и источник шума расположены на одном уровне.

2.1.2 Допустимый уровень принять по виду трудовой деятельности.

2.1.3. Определить:

- необходимое снижение шума ΔL ;
- критерий W ;
- величину снижения шума $\Delta L_{\text{экp}}$ (по графику рис.4);
- уровни шума с учетом их снижения $L_{\text{факт}}$.

2.2 Сравнить полученные уровни шума с предельно допустимыми и сделать выводы.

3. Указания к решению задачи

3.1. Строим расчетную схему экрана:

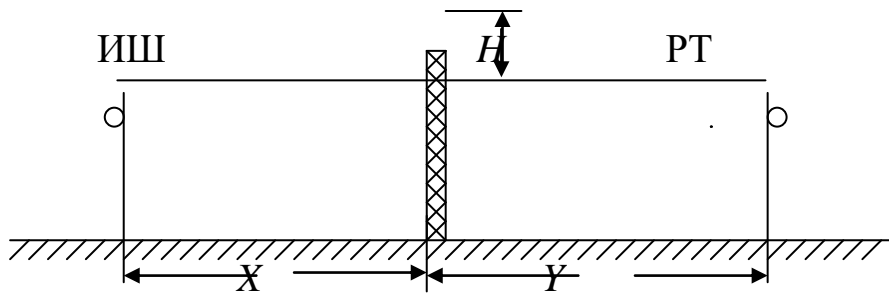


Рис. 3. Расчетная схема экрана

ИШ – источник шума; РТ – расчетная точка; H – высота экрана; X – расстояние от экрана до ИШ; Y – расстояние от экрана до РТ

3.2. Определяем критерии W . Для определения эффективности экранов необходимо рассчитать функцию W . Так как источник шума и расчетная точка расположены на одной высоте, то расчет ведем по формуле

$$W = \frac{1.414}{\lambda} H \sqrt{\frac{x+y}{x \cdot y}}, \quad (13)$$

где λ - длина волны.

Значения λ для разных частот приведены в табл. 7. Полученные значения сводим в табл. 8.

Таблица 7

Значения длин волн для разных частот

31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10,8	5,4	2,72	1,36	0,68	0,34	0,17	0,085	0,043

3.3. По графику, зная параметр W , определяем снижение звука за счет экрана $\Delta L_{\text{экр}}$.

3.4 Находим уровни шума с учетом их снижения по формуле

$$L_{\text{факт}} = L_{\text{ист}} - \Delta L_{\text{экр}}, \quad (14)$$

где $L_{\text{ист}}$ - уровень шума от источника, дБ.

3.5. Сравниваем фактический уровень шума с допустимым и делаем выводы по эффективности звукопоглощающих облицовок.

3.6. Результаты расчетов оформляем в виде таблицы 8. Исходные данные для расчетов выбираем из табл. 9, 10.

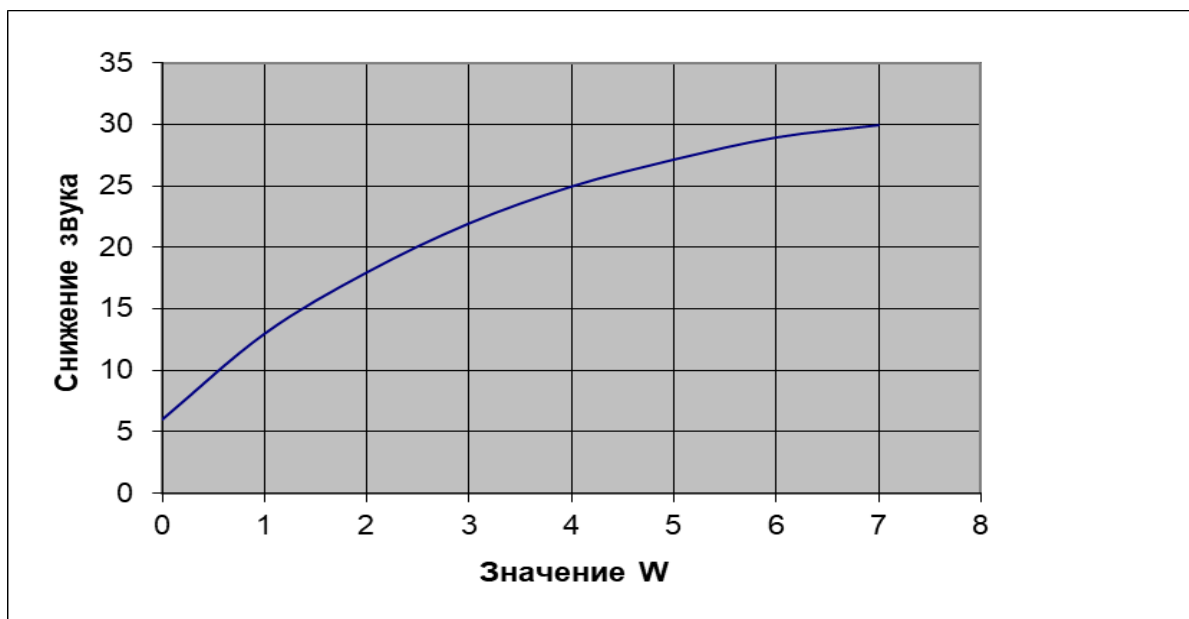


Рис. 4. Определение эффективности экрана

Таблица 8

Результаты расчетов

Параметры	Уровень звукового давления L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{р\text{ исх}}$, дБ									
$L_{\text{допустимый}}$									
ΔL									
W									
$\Delta L_{\text{экр}}$									
$L_{\text{факт}}$									

4. Исходные данные для решения задачи

Таблица 9

Уровни звукового давления в октавных полосах частот

Вариант	Уровень звукового давления L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	110	100	112	98	96	100	110	90	85
2	100	99	100	110	90	85	84	82	76
3	102	99	94	86	87	84	85	78	74
4	100	95	92	90	85	84	82	76	70
5	85	85	84	86	82	80	78	74	70
6	98	96	100	110	90	85	84	80	78
7	96	98	94	92	88	86	84	82	78
8	78	79	82	76	70	69	68	66	63

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	70	75	74	76	68	66	65	64	62
10	88	86	82	80	78	74	74	72	70
11	85	84	82	84	80	78	76	74	71
12	84	85	78	80	78	74	73	72	70
13	106	110	112	98	96	100	98	90	84
14	104	102	96	90	85	84	82	76	74
15	98	94	92	88	86	84	80	78	76

Таблица 10

Вид трудовой деятельности и параметры установки экрана

№ варианта	Вид трудовой деятельности	Расстояние от экрана, м		Высота экрана, м
		до источника шума	до рабочего места	
1	2	3	4	5
1	Физическая работа	3	7	2
2	Мастерские	5	10	2,2
3	Служебные помещения без ПК на рабочих местах	5	7	2,4
4	Мастерские	5	4	2,6
5	Служебные помещения без ПК на рабочих местах	2	5	2,8
6	Мастерские	3	6	3,0
7	Физическая работа	4	8	3,2
8	Служебные помещения без ПК на рабочих местах	7	4	3,4
9	Служебные помещения без ПК на рабочих местах	1	6	2
10	Физическая работа	8	5	2,2
11	Служебные помещения без ПК на рабочих местах	5	7	2,4
12	Служебные помещения Мастерские	6	2	2,6
13	Служебные помещения Мастерские	3	5	2,8
14	Служебные помещения Мастерские	10	11	3,0
15	Физическая работа	20	20	3,2

Задача № 3. РАСЧЕТ СУММАРНОГО УРОВНЯ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

1. Цель работы.

1.1. Определить суммарную интенсивность шума от трех источников на конкретном рабочем месте.

1.2. Определить интенсивность шума, если стены и потолок покрыты звукопоглощающим материалом.

1.3. Сформулировать выводы.

2. Указания к решению задачи

2.1. Расчет изменения уровня интенсивности шума с изменением расстояния r от источника шума производится по формуле

$$L_r \sim L_1 - 10 \lg 2\pi r^2 - 8, \quad (15)$$

где L_r и L_1 – уровни интенсивности шума источника на расстоянии r метров и одного метра соответственно.

Если между источником шума и рабочим местом есть стена-преграда, то уровень интенсивности шума снижается на:

$$N = 14,5 \lg G + 15, \quad (16)$$

где G – масса 1 м^2 стены-преграды, кг.

Уровень интенсивности шума на рабочем месте с учетом влияния стены-преграды определится как:

$$L_r^1 = L_r - N. \quad (17)$$

Суммарная интенсивность шума двух источников с уровнями L_A и $L_{\text{бл}}$ (уровень шума от источника, ближайший к максимальному) определятся как:

$$L_{\Sigma} = L_A + \Delta L, \quad (18)$$

где L_A – наибольший из двух суммируемых уровней, дБ; ΔL – поправка, зависящая от разности уровней.

Величина поправки может быть определена графически (рис. 5) или по табл. 11.

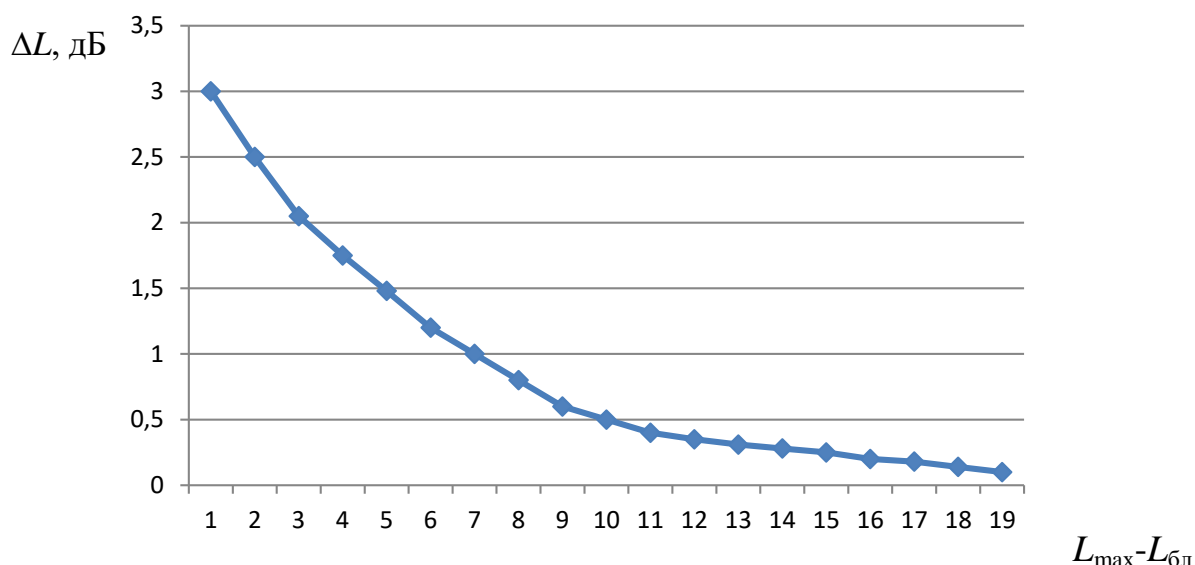


Рис. 5. Определение поправки

Таблица 11

Величина поправки при суммировании уровней звукового давления от нескольких источников шума

Разность уровней источников в шума, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Поправка, дБ	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

При определении суммарной мощности нескольких источников суммирование следует производить последовательно, начиная с наиболее интенсивных.

Следует учесть, что L_{Σ} определяется для трех источников шума и каждый источник рассматривается с соответствующей стеной-преградой.

2.2. При определении интенсивности шума после покрытия стен и потолка шумопоглощающим материалом для простоты допускается пренебречь действием прямых звуковых лучей, считать, что стены-преграды находятся внутри помещения и на звукопоглощение влияния не оказывают.

Суммарное звукопоглощение стен и потолка определится как

$$A = S_{\text{пт}} \alpha_{\text{пт}} + S_{\text{с}} \alpha_{\text{с}} + S_{\text{пол}} \alpha_{\text{пол}} . \quad (19)$$

Снижение интенсивности составит:

$$\Delta L_{\text{погл}} = 10 \lg A_2/A_1 . \quad (20)$$

2.3. Уровень интенсивности шума на рабочем месте с учетом покрытия составит

$$L_{\Sigma}^1 = L_{\Sigma} - \Delta L_{\text{погл}} \quad (21)$$

2.4. Сравниваем фактический уровень шума с допустимым и делаем выводы по эффективности звукопоглощающих облицовок.

2.5. Результаты расчетов оформляем в виде табл.12.

Таблица 12

Результаты расчетов

Параметры	Источник шума		
	1	2	3
L_p , дБ			
L_r , дБ			
N			
L_r^1			
L_{Σ}			
A_1			
A_2			
$\Delta L_{\text{погл}}$			
L_{Σ}^1			
$L_{\text{доп}}$, дБ			

3. Исходные данные для решения задачи

Таблица 13

Уровни звука источников, параметры помещения и вид преграды

Вариант	Источник шума						Площадь, м ²		Коэффициенты поглощения						№ преграды
	1		2		3		Стен	Пола	До			После			
	r , м	L , дБ	r , м	L , дБ	r , м	L , дБ			$\alpha_{\text{пол}}$	$\alpha_{\text{ст}}$	$\alpha_{\text{п}}$	$\alpha_{\text{пол}}$	$\alpha_{\text{ст}}$	$\alpha_{\text{п}}$	
1	1	80	1,5	85	2	90	100	200	0,02	0,01	0,01	0,02	0,1	0,1	1
2	1,5	85	1	80	2,5	85	150	150	0,021	0,01	0,01	0,02	0,1	0,1	2
3	2	90	1,5	85	1	80	200	100	0,022	0,01	0,01	0,022	0,1	0,1	3
4	2,5	95	2	90	1,5	85	250	150	0,023	0,01	0,01	0,023	0,1	0,1	4
5	3	100	2,5	95	2	90	300	200	0,024	0,01	0,01	0,024	0,1	0,1	5
6	3,5	105	3	100	2,5	95	350	250	0,025	0,01	0,01	0,025	0,1	0,1	6
7	4	110	3,5	105	3	100	400	300	0,026	0,01	0,01	0,026	0,1	0,1	7
8	4,5	105	4	110	3,5	105	450	350	0,027	0,01	0,01	0,027	0,1	0,1	8
9	5	100	4,5	105	4	110	500	400	0,028	0,01	0,01	0,028	0,1	0,1	9
10	5,5	95	5	100	4,5	105	550	450	0,029	0,01	0,01	0,029	0,1	0,1	10
11	6	90	5,5	95	5	100	500	500	0,03	0,01	0,01	0,03	0,1	0,1	11
12	6,5	85	6	90	5,5	95	450	550	0,031	0,01	0,01	0,031	0,1	0,1	12
13	1	80	6,5	85	6	90	400	500	0,032	0,01	0,01	0,032	0,1	0,1	13
14	1,5	80	2	80	6,5	85	450	450	0,033	0,01	0,01	0,033	0,1	0,1	14
15	2	85	1	80	6	80	400	400	0,034	0,01	0,01	0,034	0,1	0,1	15

Характеристики преграды

№ п/п	Материал конструкции	Толщина конструкции, м	Масса 1м ² преграды, кг
1	Стена кирпичная	0,12	250
2	Стена кирпичная	0,25	470
3	Стена кирпичная	0,38	690
4	Стена кирпичная	0,52	934
5	Картон в несколько слоев	0,02	12
6	Картон в несколько слоев	0,04	24
7	Войлок	0,025	8
8	Войлок	0,05	16
9	Железобетон	0,1	240
10	Железобетон	0,2	480
11	Стена из шлакобетона	0,14	150
12	Стена из шлакобетона	0,28	300
13	Перегородка из досок толщиной 0,02м, оштукатуренная с двух сторон	0,06	70
14	Перегородка из стоек толщиной 0,1м, оштукатуренная с двух сторон	0,18	95
15	Гипсовая перегородка	0,11	117

Раздел 2. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

2.1. Краткие сведения из теории

2.1.1. Физические характеристики вибрации

Вибрация — это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам от источника переменного физического поля.

Причинами возникновения вибрации являются неуравновешенные силовые воздействия, источниками которых служат:

- возвратно-поступательные движущиеся системы (кривошипно-шатунные механизмы, вибротрамбовки и др.);
- неуравновешенные вращающиеся массы (ручные электрические шлифовальные машины),
- электромагнитные колебания (силовой трансформатор).

В отдельных случаях вибрации могут создаваться также ударами деталей (зубчатые зацепления, подшипниковые узлы).

Неуравновешенные силы появляются в результате дисбаланса, причиной которого может быть неоднородность материала вращающегося тела, несовпадение центра массы тела и оси вращения и др.

Физические параметры вибрации:

- а) частота, Гц.;

б) амплитуда виброперемещения – наибольшее отклонение точки в процессе колебания от равновесия (x , мм);

Для гармонических колебаний величина отклонения колеблющейся точки от положения равновесия определяется по формуле

$$x = x_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (22)$$

где x_m - амплитуда виброперемещения;

φ - начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$;

ω - круговая частота, $\omega = 2\pi f$;

f - частота колебаний, Гц;

в) виброскорость - первая производная по времени от виброперемещения (V , м/с);

$$V = V_m \cos(\omega t + \varphi), \quad (23)$$

где V_m - максимальное значение виброскорости колеблющейся точки.

г) виброускорение - вторая производная по времени от виброперемещения (a , м/с²),

$$a = -a_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (24)$$

a_m - максимальные значения виброускорения колеблющейся точки;

д) логарифмический уровень виброскорости (L_v , дБ)

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0}, \quad (25)$$

где V - средние квадратичные значения виброскорости (м/с);

$V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ - опорное значение виброскорости, м/с;

2.1.2. Воздействие вибрации на человека

Характер функциональных сдвигов в организме определяется уровнем вибрации, спектральным составом и продолжительностью воздействия. Степень распространения колебаний по телу зависит от их частоты, амплитуды, площади участков тела, соприкасающихся с вибрирующим объектом, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явления резонанса и др. условий. При низких частотах вибрация распространяется по телу с малым затуханием, охватывая колебательным движением все туловище и голову.

Частота внутренних органов 6-9 Гц, колебания такой частоты могут вызвать механические повреждения или разрыв органов. Для всего тела в положении сидя резонанс наступает на частотах 4-6 Гц. Голова относительно плеч 4-6 Гц стоя, 25-30 Гц сидя. Расстройство зрительных восприятий проявляется в частотном диапазоне между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок.

Местная вибрация малой интенсивности может оказывать благоприятное воздействие на организм человека, восстанавливая трофические изменения, улучшая функциональное состояние центральной нервной системы, ускоряя заживление ран и т. п.

Вибрация приводит к профессиональному заболеванию - виброболезни.

Низкочастотные вибрации приводят к развитию вибрационной патологии с превалированием поражений нервно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата. Среднечастотная вибрация вызывает различные по степени выраженности сосудистые, нервно-мышечные, костно-суставные нарушения. Высокочастотная вибрация вызывает в основном сосудистые нарушения.

2.1.3. Нормирование вибрации

Нормирование вибрации производится по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

По способу передачи на человека вибрации различают:

- общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

По источнику возникновения общая вибрация подразделяется на:

- 1-я категория - транспортная вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах транспортных средств (тракторы, сельскохозяйственные машины; автомобили грузовые, снегоочистители, тягачи, скреперы, грейдеры, катки самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт);
- 2-я категория - транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по поверхностям производственных помещений (экскаваторы, краны промышленные и строительные, горные комбайны, шахтные погрузочные машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт);
- 3-я категория - технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин (станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, насосы и вентиляторы).

Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют:

- 3а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

- 3б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;
- 3в) на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, вычислительных центров, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;
- общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях.

Нормируемым показателем вибрации на рабочем месте является эквивалентное скорректированное виброускорение за рабочую смену, $A_{(8)}$, $m \cdot c^{-2}$.

Предельно допустимые величины эквивалентного скорректированного виброускорения за рабочую смену производственной вибрации приведены в табл. 15.

Таблица 15

Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения	
			m/c^2	дБ
Локальная		Xл, Yл, Zл	2,0	126
Общая	Транспортная вибрация на рабочих местах в транспортных средствах, самоходных и прицепных машинах при движении	Zo	0,56	115
		Xo, Yo	0,40	112
	Транспортно-технологическая вибрация на рабочих местах в машинах, перемещающихся по подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок	Zo	0,28	109
		Xo, Yo	0,2	106
	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах	Zo	0,1	100
		Xo, Yo	0,071	97
X, Y		0,0099	80	

2.1.4. Системы защиты от вибрации

Снижение вибрации в источнике - уменьшение возмущающей силы. Это достигается путем проведения статической и динамической балансировки вращающихся частей машины, замены подшипников

качения на подшипники скольжения; применения конструкционных материалов с повышенным внутренним трением. Применение специальных видов зацепления и чистоты поверхности шестерен позволяет снизить уровень вибрации на 3-4 дБ.

Отстройка от режимов резонанса достигается либо изменением характеристик системы (массы и жесткости) и соответственно собственной частоты колебаний машины, либо изменением угловой скорости и соответственно частоты возмущающей силы. Жесткостные характеристики системы изменяются введением в конструкцию ребер жесткости или изменением ее упругих характеристик.

Вибродемпфирование - это процесс уменьшения уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний системы в тепловую энергию.

Увеличение потерь энергии в системе может быть достигнуто:

- использованием конструктивных материалов с большим внутренним трением (использование в качестве конструктивных материалов: пластмассы, дерева, резины);
- нанесением слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение. В качестве жестких покрытий используются вязкоупругие материалы (твердые пластмассы, различные полимерные смеси). В качестве мягких - мягкие пластмассы, резина, пенопласт, поливинилхлоридные пластики.

Виброгашение осуществляют путем установки агрегатов на массивный фундамент. Виброгашение наиболее эффективно при средних и высоких частотах вибрации. Этот способ нашел широкое применение при установке тяжелого оборудования (молотов, прессов, вентиляторов, насосов и т. п.).

Виброизоляция - это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем уменьшения передачи колебаний от источника колебаний к объекту. Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от источника колебаний к основанию, на котором находится человек.

Виброизоляция достигается путем установки агрегатов на специальные упругие устройства, обладающие малой жесткостью.

В качестве виброизоляторов используют упругие материалы: металлические пружины, резину, пробку (толщина 2 - 15см), войлок (толщина 1 - 2,5 см) и пр. Выбор материала определяется величиной требуемого статического прогиба и условиями эксплуатации (температура, химически агрессивная среда и пр.). Пружинные по сравнению с резиновыми имеют ряд преимуществ. Они могут

применяться для изоляции как низких, так и высоких частот, дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию масел и высокой температуры, относительно малогабаритны. Однако металлические пружины имеют тот недостаток, что, будучи спроектированы на низкую частоту, они пропускают более высокие. Резина имеет малую плотность, хорошо крепится к деталям, ей легко придать любую форму, и она обычно используется для виброизоляции машин малой и средней массы (электродвигателей и т.п.). В виброизоляторах резина работает на сдвиг и (или) сжатие. Эффективность виброизоляции оценивается коэффициентом передачи, который имеет физический смысл отношения силы, действующей на основание при наличии упругой связи, к силе, действующей при жесткой связи. Чем это отношение меньше, тем лучше виброизоляция. Хорошая виброизоляция достигается при $K_{\pi} = 1/8 - 1/15$.

Коэффициент передачи может быть рассчитан по формуле

$$K_{\pi} = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (26)$$

где f – частота возмущающей силы;

f_0 – собственная частота системы на виброизоляторах.

Оптимальное соотношение $f/f_0 = 3 - 4$.

При применении виброизоляции уровень виброскорости снизится на величину ΔL :

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{1}{K_{\pi}}. \quad (27)$$

Нормативные значения виброскорости для оценки виброизоляции приведены в табл. 16.

Таблица 16

Предельно допустимые значения виброскорости, дБ

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброскорости, дБ
	Технологическая вибрация
2,0	108
4,0	99
8,0	93
16,0	92
31,5	92
63,0	92

2.2. Практические работы

Задача № 4. РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

1. Цель работы.

1.1. Определить число виброизоляторов и их геометрические характеристики, обеспечивающие снижение вибрации до допустимой величины.

1.2. Сделать вывод по результатам расчета.

2. Указания к решению задачи.

Виброизолированное рабочее место, как правило, представляет собой массивную железобетонную плиту, установленную на виброизоляторы, опирающиеся на колеблющееся основание.

Исходными данными для расчета виброизоляции рабочего места являются число оборотов электродвигателя n , об/мин, масса опорной плиты Q_n , H , масса человека $Q_ч$, H .

В начале расчета независимо от выбранного типа виброизоляторов следует определить:

2.1. Частоту вынужденных колебаний f , Гц:

$$f = n/60. \quad (28)$$

2.2. Частоту собственных колебаний f_0 , Гц

$$f_0 = f/\gamma, \quad (29)$$

где $\gamma=3...4$ – допустимое соотношение собственных и вынужденных частот колебаний.

2.3. Необходимый для данной системы виброизоляции коэффициент передачи μ :

$$\mu = \left| 1/((f/f_0)^2-1) \right|. \quad (30)$$

Далее расчет пружинных и резиновых виброизоляторов осуществляется по отдельным методикам.

Расчет пружинных виброизоляторов

Порядок расчета виброизоляции с использованием пружин следующий. Последовательно определяются:

1. Статическая деформация пружинных виброизоляторов $\lambda_{ст}$, см:

$$\lambda_{ст} = 0,25/(f_0)^2. \quad (31)$$

2. Требуемая суммарная жесткость пружинных виброизоляторов, K_c , Н/м:

$$K_c = Q / \lambda_{cm}, \quad (32)$$

где Q —общий вес виброизолированного рабочего места, определяемый по формуле

$$Q = Q_n + Q_{ч}. \quad (33)$$

3. Выбираем количество устанавливаемых пружин — n .

4. Жесткость одного виброизолятора K , Н/м:

$$K = K_c / n. \quad (34)$$

5. Расчетная нагрузка на одну пружину P , Н:

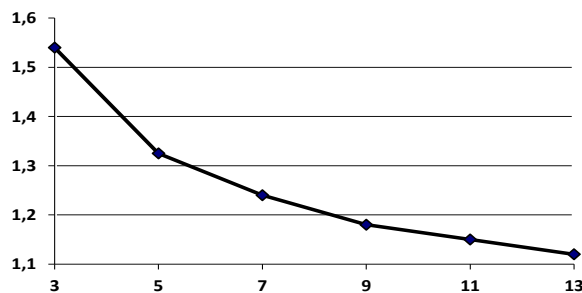
$$P = Q / n. \quad (35)$$

6. Диаметр проволоки для изготовления пружины d , см:

$$d = 1,6 \sqrt{NPc / [\tau]}, \quad (36)$$

где N —коэффициент, определяемый по графику, рис. 6; $C = D/d$ —отношение диаметра пружины к диаметру проволоки, принимается в пределах 4 – 10; $[\tau]$ – допускаемое напряжение на срез (для пружинной стали $[\tau] = 3,78 \cdot 10^8$ Н/см).

N



C

Рис. 6. Определение коэффициента деформации пружины

7. Число рабочих витков пружины i :

$$i = \sigma d / (8Kc^3), \quad (37)$$

где σ —модуль упругости на сдвиг, для стали $\sigma = 8 \cdot 10^{10}$ Н/м².

8. Число нерабочих витков пружины i_2 :

$i_2 = 1,5$ при $i < 7$ (на оба торца пружины);

$i_2 = 2,5$ при $i > 7$.

9. Полное число витков пружины i определяется по формуле

$$i = i_1 + i_2 . \quad (38)$$

10. Высота ненагруженной пружины H_0 , см:

$$H_0 = i_1 h_1 + (i_2 - 0,5) d , \quad (39)$$

где h_1 —шаг пружины, см, принимают $h_1 = (0,25 \dots 0,5) D$;
 D -диаметр пружины, см; ($D = cd$, см).

Для обеспечения устойчивости пружин, работающих на сжатие, необходимо, чтобы $H_0/D < 1,5$. В противном случае пружины будут неустойчивыми, и необходим их пересчет.

Расчет резиновых виброизоляторов

Для изготовления виброизоляторов выбираем марку резины и ее характеристики.

Порядок расчета резиновых виброизоляторов следующий:

1. Определяем статическую осадку амортизаторов под действием массы установки ($X_{ст}$), м

$$X_{ст} = \sigma / E_d \cdot h , \quad (40)$$

где $\sigma = (2 - 4) \cdot 10^5$, Н/м² - расчетное статическое напряжение в упругом материале виброизолятора (допустимая нагрузка на прокладку); E_d - динамический модуль упругости, Па; h - высота амортизаторов, принимается исходя из практических соображений 5...15 см.

2. Определяем частоту собственных колебаний установки на амортизаторах, f_0 , Гц:

$$f_0 = 0,5 / \sqrt{X_{ст}} . \quad (41)$$

3. Определим частоту возмущающей силы, f , Гц:

$$f = n / 60 . \quad (42)$$

4. Рассчитаем величину динамических сил от вибрации, изолируемую принятыми амортизаторами, Q , Н :

$$Q = Q_n + Q_{\text{оборуд}}, \quad (43)$$

где Q_n – масса опорной плиты, Н; $Q_{\text{оборуд}}$ – масса оборудования, Н.

5. Находим площадь поверхности амортизаторов под установку, S , м²:

$$S = Q/\sigma. \quad (44)$$

6. Определяем количество виброизоляторов и их размеры N , S .

Количество виброизоляторов принимаем $N= 4\dots 8$. Площадь одного виброизолятора $S^1 = N/S$, м².

7. Выбираем сечение виброизолятора—квадрат или окружность, исходя из его площади S^1 . Тогда сторона квадрата сечения виброизолятора или его диаметр d , см, определяется как:

$$d = \sqrt{S} \text{ или } d = 2 \sqrt{S/\pi}. \quad (45)$$

8. Резиновые виброизоляторы сохраняют устойчивость от опрокидывания в процессе эксплуатации при условии: $h \leq d \leq (1,5—2,5) h$.

Если это условие не выполняется, необходимо провести перерасчет виброизоляторов.

3. Результаты расчетов оформляем в виде таблиц

Таблица 17

А. Расчет пружинного виброизолятора

Число оборотов двигателя	n , об/мин	
Частота собственных колебаний	f_0 , Гц	
Коэффициент передачи	μ	
Статическая осадка	$\lambda_{\text{ст}}$, м	
Суммарная жесткость виброизоляторов	K_c	
Число виброизоляторов	n	
Жесткость одного виброизолятора	K	
Расчетная нагрузка на одну пружину	P	
Диаметр прутка пружины	d , мм	
Диаметр пружины	D , мм	
Полное число витков пружины	i	
Шаг витка	h_1 мм	
Высота ненагруженной пружины	H_0 , мм	

Б. Расчет резинового виброизолятора

Число оборотов двигателя	n , об/мин	
Частота собственных колебаний	f_0 , Гц	
Статическая осадка	$X_{ст}$, м	
Величина динамических сил	Q , Н	
Площадь поверхности амортизаторов	S , м ²	
Число виброизоляторов	N	
Площадь одного виброизолятора	S^1 , м ²	
Сечение виброизолятора	d	

4. Исходные данные к задаче

Таблица 18

Исходные данные к задаче

Вариант	Число оборотов двигателя, n , об/мин	Масса опорной плиты, кг	Масса оборудования, кг	Марка резины	Динамический модуль упругости, 10^5 Па
1	2	3	4	5	6
1	1500	500	100	2566	38
2	1800	600	150	8508	126
3	2400	700	200	4326	226
4	3000	800	250	1068	166
5	900	900	300	199	196
6	1200	1000	350	3826	72
7	1500	500	300	3311	206
8	1800	600	250	2959	166
9	2400	700	200	3826	236
10	3000	800	150	2542	314
11	900	900	100	3311	250
12	1200	1000	150	2959	63
13	1500	500	200	2566	38
14	1800	600	250	8508	126
15	2400	700	300	4326	226

Таблица 19

Характеристики резин, используемых для виброизоляторов

Марка резины	2566	8508	4326	1068	199	3826	2542	3311	2959
Динамический модуль упругости, 10^5 Па	38	126	226	166	196	236	314	250	63

Раздел 3. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

3.1. Краткие сведения из теории

Производственное освещение - неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека. Правильно организованное освещение рабочего места обеспечивает сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Производительность труда и качество выпускаемой продукции находятся в прямой зависимости от освещения.

3.1.1. Основные светотехнические величины

Световой поток Φ - лучистая энергия, которая воспринимается человеком как свет. Единицей измерения светового потока является люмен (лм).

Сила света I - пространственная плотность светового потока, численно равная отношению светового потока Φ , исходящего от точечного источника, к величине телесного угла ω , в пределах которого он распространяется:

$$I = \Phi / \omega . \quad (46)$$

За единицу силы света принята кандела (кд).

Освещенность E - поверхностная плотность светового потока, численно равная отношению светового потока Φ , равномерно падающего на освещаемую поверхность, к площади этой поверхности S .

$$E = \Phi / S . \quad (47)$$

Единица освещенности - люкс (лк).

Яркость B - это поверхностная плотность силы света в данном направлении. Яркость B поверхности под углом α к нормали численно равна отношению силы света I излучаемой, освещаемой или светящейся поверхностью в этом направлении к площади S проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению:

$$B = I / S \cos \alpha . \quad (48)$$

Яркость является величиной, непосредственно воспринимаемой глазом человека. Единицей измерения яркости является кандела на 1 м^2 (кд/м²).

Световая отдача – это главная характеристика энергоэкономичности ламп и она равна отношению светового потока лампы к ее мощности. Применение ламп с высокой световой отдачей – основной путь экономии электроэнергии в осветительных установках.

3.1.2. Виды и системы производственного освещения

Производственное освещение подразделяется на:

- естественное - освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях;
- искусственное - освещение, создаваемое искусственными источниками света, т.е. устройствами, предназначенными для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение;
- совмещенное - освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Естественное освещение в свою очередь бывает:

- боковым, при котором освещение помещения естественным светом осуществляется через световые проемы в наружных стенах;
- верхним - естественное освещение помещения через фонари, световые проемы в стенах в местах перепада высот здания;
- комбинированным - сочетание верхнего и бокового естественного освещения.

Верхнее и комбинированное естественное освещение в основном применяется в производственных одноэтажных многопролетных зданиях, в одноэтажных общественных зданиях большой площади (крытые рынки, стадионы и т.п.), а также в зданиях с крупногабаритными технологическими объемами, в частности, производственных транспортных предприятиях, предназначенных для ввода подвижного состава.

Боковое естественное освещение применяется в многоэтажных производственных, общественных и жилых зданиях, а также в одноэтажных общественных и производственных зданиях, в которых отношение глубины помещения к высоте окон над условной рабочей поверхностью (горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола) не превышает 8.

Искусственное освещение может быть двух систем - общее освещение и комбинированное освещение.

Общее освещение предназначено для освещения всего помещения и может быть равномерным или локализованным. Общее равномерное освещение создает условия для выполнения работы в любом месте освещаемого пространства. При общем локализованном освещении светильники размещают в соответствии с расположением оборудования, что позволяет создать большую освещенность на рабочих местах.

Система общего равномерного освещения рекомендуется в помещениях:

- с большой плотностью расположения оборудования и рабочих мест, где нет теней на рассматриваемой поверхности;
- при выполнении однотипных работ по всей площади помещения (крупноборочные цеха, литейные цеха);
- где не требуется большого и длительного напряжения зрения (работы 5-го разряда и ниже).

Общее локализованное освещение применяют в случаях:

- различного назначения отдельных частей помещения;
- наличия громоздкого затеняющего оборудования;
- больших размеры рабочих поверхностей или размещение их сосредоточенной группой (конвейер);
- желательности определенного направления света.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного. Его целесообразно устраивать при работах высокой точности, а также при необходимости создания определенного или изменяемого в процессе работы направления света. *Местное* освещение предназначено для освещения только рабочих поверхностей и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к ним площадях. Оно может быть стационарным и переносным. Применение только местного освещения в производственных помещениях не допускается из-за дискомфортной блескости, возникающей при наличии темных окружающих поверхностей и ярких пятен в поле зрения.

Система комбинированного освещения как наиболее экономичная должна предусматриваться:

- в помещениях, где выполняются точные зрительные работы (I - V (б) разряда);
- при работе на оборудовании, создающем глубокие резкие тени (прессы, штампы) или на оборудовании, рабочие поверхности которого расположены вертикально или наклонно;
- в случаях необходимости определенного, а тем более изменяемого в процессе работы направления света;
- в помещениях с невысокой плотностью расположения рабочих мест.

3.1.3. Источники искусственного освещения

Для искусственного освещения производственных помещений используются разрядные лампы, лампы накаливания и светодиоды.

В *лампах накаливания* (ЛН) свечение возникает в результате нагрева нити лампы до высоких температур.

К преимуществам ламп накаливания относятся их инерционность, компактность, включение в сеть без дополнительных устройств,

независимость от окружающей среды и температуры, возможность работы при постоянном и переменном токе, налаженность в массовом производстве, малая стоимость, небольшие размеры, отсутствие мерцания и гудения при работе на переменном токе, отсутствие в спектре ультрафиолетового излучения, высокую надежность работы.

К недостаткам ламп накаливания следует отнести: низкую светоотдачу 7...20лм/Вт, небольшой срок службы (1500 часов), преобладание в спектре желтовато-красных лучей, которые искажают цветовое восприятие, низкий КПД (3-4%). В силу перечисленных недостатков лампы накаливания имеют ограниченное применение. В частности, для освещения в производственных помещениях лампы накаливания применяют:

- для аварийного и эвакуационного освещения;
- в помещениях, для питания освещения которых допускается напряжение не более 42 В;
- в помещениях с кратковременным пребыванием людей;
- для местного освещения;
- в случаях, когда применение разрядных ламп невозможно по технологическим причинам (низкая температура воздуха, вибрация).

Наибольшее распространение получили *разрядные лампы*. Принцип действия разрядных ламп (РЛ) основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную для оптического излучения колбу той или иной формы. Внутреннее пространство колбы после удаления воздуха наполняется определенным газом, чаще всего инертным, до заданного давления или же инертным газом и небольшим количеством металла (с высокой упругостью паров), например, ртутью, натрием.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) представляют собой разрядные источники света низкого давления, в которых ультрафиолетовое (УФ) излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в видимое излучение. Колба лампы заполнена инертным газом - аргон - криптоновой смесью. В качестве люминофора, как правило, применяется галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем. Подбирая состав люминофоров, можно создать излучение любого спектра.

Достоинством ЛЛ является значительная светоотдача (75...85 лм/Вт), экономичность, срок службы достигает 12000 часов, благоприятный спектральный состав света, близкий к естественному, равномерность светового потока и сравнительно невысокая яркость.

Люминесцентные лампы рекомендуются:

- в системе одного общего освещения I-У разряда зрительных работ (браковочные операции, сварочные цехи, учебные помещения, проектно-конструкторские бюро и т.д.);
- для общего освещения в системе комбинированного освещения во всех случаях;
- для общего и местного освещения в производствах, где необходимо правильное различение цветности поверхности (малярное отделение, сортировка в приборостроительной промышленности);
- в помещениях с недостаточным естественным освещением.

Для производственных целей широко используются также *ртутные лампы* (РЛ) высокого давления, такие как ДРЛ - дуговые ртутные люминесцентные и ДРИ - дуговые ртутные лампы с излучающими добавками (иодида натрия, индия, теллурия). ДРЛ могут использоваться без люминофора, поскольку в спектре более 50% излучения составляет видимое излучение, около 40% - УФ. Качество цветопередачи ламп типа ДРЛ намного хуже, чем у ЛЛ. Световая отдача составляет 50... 60 лм/Вт. Кроме того, лампы ДРЛ вызывают большую пульсацию светового потока (63... 74%). На их зажигание также влияет температура окружающей среды и снижение напряжения сети.

Применению ДРЛ благоприятствует:

- большая высота помещений;
- трудность доступа к светильникам;
- работа с поверхностями без выраженной цветности (металл, бетон);
- отсутствие специальных требований к качеству освещения;
- низкая температура окружающей среды (ниже +10°C).

Все большее распространение начали получать светодиодные светильники. *Светодиодный светильник* – это осветительный прибор, основными элементами которого являются полупроводниковый элемент с электронно-дырочным переходом или контактом, металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока, и источник питания – драйвер. Драйвер светодиодного светильника – это импульсный источник питания, который преобразует переменный ток в постоянный. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят в том числе и от химического состава использованных в нем полупроводников. При пропускании электрического тока через *p-n* переход в прямом направлении, носители заряда – электроны и дырки – рекомбинируют с излучением фотонов, таким образом, возникает свечение светодиода (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой). Свечение зависит от силы пропускаемого через него тока, вследствие чего

все светодиоды подвержены диммированию (возможности плавной регулировки интенсивности освещения).

Преимущества светодиодов:

- низкое энергопотребление - не более 10% от потребления при использовании ламп накаливания и не более 50% от потребления люминесцентных ламп;

- долгий срок службы - до 100 000 часов;

- низкие эксплуатационные расходы.

- экологическая и противопожарная безопасность. Они не содержат в своем составе ртути и почти не нагреваются;

- работают при низких температурах;

- отсутствие чувствительности к частым включениям и выключениям;

- высокий уровень цветопередачи.

Светодиодные светильники могут быть применены для уличного освещения, для ЖКХ, освещение офисов и промышленных предприятий.

Промышленное светодиодное освещение отличается высокой надежностью, пожаробезопасностью и отсутствием эксплуатационных расходов, снижением травматичности из-за отсутствия стробоскопического эффекта.

Светодиодные светильники могут быть применены и для создания сложной системы освещения с зональным делением.

Создание в производственных помещениях качественного и экономичного освещения обеспечивается применением рациональных светильников.

Светильник – это осветительный прибор, осуществляющий перераспределение светового потока лампы внутри значительных телесных углов, содержащее источник света (лампу) и светотехническую арматуру. Светотехническая арматура перераспределяет свет источника света (ИС) в пространстве или преобразует его свойства (изменяет спектральный состав излучения или поляризует его). Наряду с этим, светотехническая арматура выполняет функции защиты лампы от воздействия окружающей среды, механических повреждений, обеспечивает крепление лампы и подключение к источнику питания.

Для защиты светильников от воздействия окружающей среды используют оболочки. Под степенью защиты понимается способ защиты, проверяемой стандартными методами испытаний, который обеспечивается оболочкой от доступа к опасным частям (опасным токоведущим и опасным механическим частям), попадания внешних твердых предметов и (или) воды внутрь оболочки.

Маркировка степени защиты оболочки электрооборудования осуществляется при помощи международного знака защиты (*IP*) и двух цифр, первая из которых означает защиту от попадания твёрдых предметов, вторая - от проникновения воды.

3.1.4. Основные требования к производственному освещению

Основная задача освещения на производстве - создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. Система освещения должна создавать освещенность на рабочем месте, соответствующую характеру зрительной работы.

Система освещения должна обеспечивать достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства.

Для повышения равномерности естественного освещения больших цехов (литейных, механосборочных, гальванических) осуществляется комбинированное освещение. Светлая окраска производственного оборудования способствует созданию равномерного распределения яркостей в поле зрения.

Система освещения не должна создавать резких теней. Их наличие создает неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различения, в результате повышается утомляемость, снижается производительность труда.

В поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость.

Прямую блескость ограничивают уменьшением яркости источников света, правильным выбором защитного угла светильника, увеличением высоты подвеса светильников. Отраженную блескость ослабляют правильным выбором направления светового потока на рабочую поверхность, а также изменением угла наклона рабочей поверхности.

Величина освещенности должна быть постоянной во времени.

Постоянство освещенности во времени достигается стабилизацией питающего напряжения, жестким креплением светильников, применением специальных схем включения разрядных ламп.

Все элементы осветительных установок - светильники, групповые щитки, понижающие трансформаторы, осветительные сети - должны быть достаточно долговечными, электробезопасными, а также не должны быть причиной возникновения пожара и взрыва.

3.1.5. Нормирование освещения

При нормировании освещенности согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и

(или) безвредности для человека факторов среды обитания» [1] учитывается применяемая система освещения, вид освещения и характеристики зрительной работы. К ним относятся:

- наименьший размер объекта различения - наименьший или эквивалентный (для протяженных объектов различения, имеющих длину больше их двойной ширины) размер рассматриваемого предмета, который необходимо различить в процессе работы (например, при работе с контрольно-измерительными приборами - толщина линии градуировки шкалы, при чертежных работах - толщина самой тонкой линии на чертеже);
 - фон - поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон характеризуется коэффициентом отражения (p). Коэффициент отражения определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока $\Phi_{отр}$ к падающему на нее световому потоку $\Phi_{пад}$
- $$p = \Phi_{отр} / \Phi_{пад} \quad (49)$$

Фон считается:

- светлым — при $p > 0,4$;
- средним — при $p = 0,2 \dots 0,4$;
- темным — при $p < 0,2$.

- контраст объекта различения с фоном K определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона.

$$K = |L_{об} - L_{ф}| / L_{ф} \quad (50)$$

Контраст объекта различения с фоном считается:

- большим - при $K > 0,5$ (объект и фон резко отличаются по яркости);
- средним - при $K = 0,2 \dots 0,5$ (объект и фон заметно отличаются по яркости);
- малым - при $K < 0,2$ (объект и фон мало отличаются по яркости).

Для первых пяти разрядов зрительных работ - от наивысшей до малой точности - допускается использовать системы как комбинированного, так и общего освещения, для VI-VIII разрядов - только системы общего освещения. При системе комбинированного освещения требуемые уровни освещенности выше, чем при системе общего освещения. Величина нормируемой освещенности установлена для систем освещения с разрядными лапами. При использовании ламп накаливания норма снижается на одну ступень.

Нормы по СанПиН 1.2.3685-21 основаны на шкале освещенности: 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600 - 750 - 1000 - 1250 - 500...5000 лк.

Нормы освещенности следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

- При работах I-IV разрядов, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;
- При повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т.д.);
- При специальных повышенных санитарных требованиях (на предприятии пищевой и химико-фармацевтической промышленности), если освещенность от системы общего освещения 500 лк и менее;
- При работе или производственном обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения 300 лк и менее;
- При отсутствии в помещении естественного света и постоянном пребывании людей, если освещенность от системы общего освещения 750 лк и менее;
- При наблюдении деталей, вращающихся со скоростью, равной или более 500 об/мин. Или объектов, движущихся со скоростью, равной или более 1,5 м/мин;
- При постоянном поиске объектов различения на поверхности размером $0,1 \text{ м}^2$ и более;
- В помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

Нормы естественного и совмещенного освещения содержат требования к значению КЕО (коэффициента естественной освещенности), поскольку уровень естественного освещения может резко изменяться в довольно широких пределах в зависимости от географической широты, времени года и состояния погоды.

КЕО - отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба $E_{вн}$ (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_{н}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах:

$$\text{КЕО} = (E_{вн} / E_{н}) 100 \%. \quad (51)$$

Коэффициент естественного освещения характеризует долю естественного света, проникающего внутрь помещения через оконные проемы.

Нормируемое значение КЕО устанавливается в зависимости от разряда зрительных работ и системы освещения. Достаточность естественного освещения в помещении регламентируется: минимальным значением КЕО при системе бокового освещения; средним значением КЕО при системах верхнего и комбинированного освещения.

Для зрительных работ I-III разрядов СанПиН 1.2.3685-21 регламентирует применение совмещенного освещения

Нормированные значения КЕО, e_N , для зданий, располагаемых в различных районах РФ, следует определять по формуле

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (52)$$

где e_H - значения КЕО; N - номер группы обеспеченности естественным светом; m_N - коэффициент светового климата, определяемый в зависимости от района расположения здания на территории страны и ориентации здания относительно сторон света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ Шум. Общие требования безопасности. – М.: Из-во стандартов, 1983, 8 с.
2. СП 51.13330.2011 Защита от шума (с изм. № 1, 2). Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Минрегион России. - М.: ОАО «ЦПП», 2010.
3. Осипов Г.А. Градостроительные меры борьбы с шумом / Г.А. Осипов, Б.Г. Прутков. М.: Стройиздат, 1975, 215 с.
4. Защита от шума. Справочник проектировщика /под ред. Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1985, 134 с.
5. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. М.: Стандартиформ, 2010. - 15 с.
6. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (с изм. № 1, 2). Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
7. ГОСТ 12.1.002 – 84 «ЭМП промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности» М.: Стандартиформ, 2009. - 5 с.
8. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда / Е.В. Глебова. М.: ИКФ «Каталог», 2003.
9. СанПиН 1.2.3685 -21«Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
10. Приказ Минтруда России №33н от 24 января 2014 г. «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению»
11. Производственная безопасность. Тепловой баланс производственных помещений. Организация и расчет систем вентиляции в производственных помещениях: учеб. пособие по выполнению дипломных, курсовых и практических работ для студентов / В.В. Бакаев, В.М.Смирнова, И.Г.Трунова, Е.Г.Ивашкин, Нижегород. гос. техн.ун-т им.Р. Е.Алексеева. Н.Новгород, 2015.- 135 с.
12. Токсикология: промышленные и экологические аспекты: учеб. пособие / В.М. Смирнова [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2019. – 240 с.