

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению раздела «Безопасность жизнедеятельности»
выпускной квалификационной работы для студентов
специальности 240304 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Белгород
2010

УДК 613.6 (075)

ББК 51.24я7

Б 40

Составители: канд. техн. наук, доц. В.И.Беляева
канд. техн. наук, доц. Е.В.Климова
канд. техн. наук, доц. Ю.Г.Овсянников

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Н. Лопанов

М 54 Методические указания к выполнению раздела «Безопасность жизнедеятельности» выпускной квалификационной работы для студентов специальности 240304 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов/ сост. В.И.Беляева, Е.В. Климова, Ю.Г.Овсянников. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 74с.

Данные методические указания содержат основные положения и методики расчета, необходимые для выполнения раздела «Безопасность жизнедеятельности» выпускной квалификационной работы для студентов специальности 240304 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов.

Изложены требования к выполнению раздела, его содержанию, представлен список рекомендуемой литературы.

Методические указания публикуются в авторской редакции.

УДК 658.38(07)

ББК 51.24я7

© Белгородский государственный
технологический универси-
тет (БГТУ) им. В.Г. Шухова,
2010

Введение

В соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации [18] «проекты строительства и реконструкции производственных объектов, а также машины, механизмы и другое производственное оборудование, технологические процессы должны соответствовать требованиям охраны труда».

Запрещаются строительство, реконструкция, техническое переоснащение производственных объектов, производство и внедрение новой техники, внедрение новых технологий без заключения государственной экспертизы условий труда о соответствии указанных проектов требованиям охраны труда.

В связи с этим обязательной составной частью выпускной квалификационной работы (ВКР) является раздел «Безопасность жизнедеятельности», в котором качественно и на высоком инженерном уровне должны быть рассмотрены вопросы обеспечения охраны труда и окружающей среды.

1. Общие указания

Раздел «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) должен включать два подраздела: охрана труда и охрана окружающей среды.

Целью раздела является закрепление теоретических знаний и практических навыков, полученных студентами в процессе изучения курса «Безопасность жизнедеятельности». Содержание раздела должно быть связано с темой дипломной работы.

При написании раздела следует использовать термины и определения, установленные системой стандартов безопасности труда [20].

Общий объём раздела должен составлять 10...12 страниц машинописного текста. Раздел «Безопасность жизнедеятельности» может содержать графические материалы, которые представляются в тексте либо на демонстрационных листах.

Консультации студентов по выполнению раздела «Безопасность жизнедеятельности» проводят преподаватели кафедры «Безопасность жизнедеятельности». Задание студенту на разработку оптимальных решений для создания безопасных условий труда и защиту производственного персонала определяет преподаватель-консультант, учитывая рекомендации руководителя дипломного проекта.

Выпускная квалификационная работа представляется на подпись преподавателю-консультанту не позднее, чем за семь дней до защиты.

В докладе при защите ВКР желательно кратко изложить основные положения раздела БЖД.

2. Содержание раздела «Безопасность жизнедеятельности»

Студенты специальности 240304 «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» выполняют ВКР трех типов: проект строительства (реконструкции) предприятия; проект строительства (реконструкции) с научной частью; научно-исследовательская работа. В соответствии с этим требования к выполнению и содержанию раздела «Безопасность жизнедеятельности» имеют некоторые отличия.

2.1. Содержание раздела «Безопасность жизнедеятельности» дипломного проекта

В начале раздела необходимо привести общие положения, касающиеся безопасности технологических процессов и производств, отметить актуальность данной проблемы. При этом рекомендуется использовать учебники по безопасности жизнедеятельности [1–5], нормативно-техническую литературу, журналы: «Безопасность жизнедеятельности», «Цемент и его применение», «Стекло мира», «Стекло и керамика», «Огнеупоры и техническая керамика» и другие.

Раздел должен включать теоретические положения, инженерные расчеты и рекомендации, направленные на обеспечение безопасности и улучшение условий труда. Рекомендуется следующая структура раздела:

1. Система управления охраной труда и промышленной безопасностью на предприятии. Привести выдержки из коллективного договора (разделы: охрана труда, режим труда и отдыха и т.д.).

2. Анализ условий труда на предприятии (в цехе) с разработкой предложений по их улучшению, включая следующие подразделы:

2.1. Микроклимат и состояние воздушной среды производственных помещений.

2.2. Производственное освещение.

2.3. Защита от шума и вибраций.

2.4. Электробезопасность.

2.5. Пожарная безопасность.

При этом желательно привести и проанализировать фактические данные о состоянии условий труда на предприятии (в цехе), карты ат-

тестации рабочих мест по условиям труда, вредные и опасные производственные факторы, их негативное влияние на человека, предлагаемые мероприятия и инженерные расчеты устройств обеспечения безопасности и улучшения условий труда, рекомендуемые средства индивидуальной защиты, доплаты и компенсации.

3. Требования безопасности к проектированию и строительству промышленного предприятия.

4. Охрана окружающей среды.

В данном подразделе рассматриваются вопросы обеспечения экологической безопасности производства, актуальность предлагаемых в проекте решений по совершенствованию технологии и модернизации оборудования в аспекте охраны окружающей среды.

Объем теоретической части должен составлять 6...9 страниц машинописного текста, объем расчетной части – 2...6 страниц. Если студент выполняет объемные расчеты, например, гидравлический расчет аспирационной системы, теоретическую часть раздела можно сократить.

Ниже приведены варианты заданий для выполнения инженерных расчетов. Каждый вариант включает в себя методику, пример расчета и необходимые справочные данные. Вариант задания выдается в процессе консультации в зависимости от темы выпускной квалификационной работы.

2.1.1. Варианты заданий для выполнения расчетов

Задание № 1

Гидравлический расчет аспирационной системы

Производство строительных материалов связано с выделением большого количества пыли, которая образуется при измельчении, перемешивании, транспортировании, перегрузке и т.д. Она представляет собой опасную гигиеническую вредность, оказывающую негативное влияние на здоровье человека. Пыль вызывает такие заболевания как пневмоконииозы, дерматиты, экземы, конъюнктивиты и другие. В связи с этим актуальной проблемой является предотвращение загрязнения и очистка воздуха от пыли. Это достигается совершенствованием технологии и оборудования, устройством вентиляции в производственных помещениях и аспирации очагов интенсивного пылевыведения.

Аспирация – это локализация и удаление с последующей очисткой запыленного воздуха из очагов интенсивного пылевыведения.

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

Расчетная часть должна содержать следующие разделы:

1. Гидравлический расчет воздухопроводов аспирационной системы (АС):

- 1.1. Выбор главной магистрали.
- 1.2. Расчет параметров аспирируемого воздуха
- 1.3. Расчет участка №1.
- 1.4. Расчет участка №2.

.....

2. Гидравлический расчет циклона.
3. Расчет эффективности пылеулавливания в циклоне.
4. Расчет и выбор побудителя тяги.

Исходные данные для выполнения расчета задаются согласно таблице 1.

Таблица 1

Форма представления исходных данных

Расход воздуха, м ³ /ч		Длина воздухо- водов, м				Тип цикло- на	Темпе- ратура воздуха, °С	Характеристика пыли			
Q_1	Q_2	l_1	l_2	l_3	l_4			$C_{пз}$ г/м ³	$lg\sigma_ч$	$d_{пм}$, мкм	$\rho_п$, кг/м ³

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

1. Гидравлический расчет воздухопроводов

Цель гидравлического расчета – определение полных потерь давления воздухопроводов аспирационной системы и их диаметров.

Исходными данными для расчета являются расходы аспирируемого воздуха, которые подбираются с учетом свойств и количества транспортируемого материала и конструктивных особенностей аспирационного укрытия [13], и расчетная схема АС (рис.1). Длину воздухопроводов

и схему аспирационной системы определяют, исходя из плана цеха или участка.

1.1. Выбор главной магистрали

В начале расчета вся система воздуховодов разбивается на участки. Расчетным участком называется та часть расчетной схемы АС, которая имеет постоянными как пропускаемый объем воздуха, так и диаметр воздуховода.

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

Каждому расчетному участку присваивается свой порядковый номер, в числителе выносной линии которого проставляется расход воздуха, а в знаменателе – длина участка. Порядковые номера участков проставляются последовательно от начала главной магистрали до ее конца, а затем номера параллельно подключенных к ней участков.

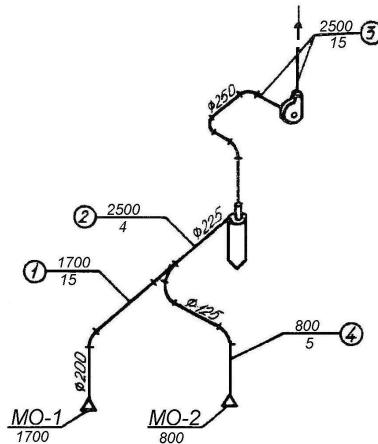


Рис. 1. Аксонометрическая схема аспирационной системы с двумя местными отсосами МО-1 и МО-2

1.2. Расчет параметров аспирируемого воздуха

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

Плотность аспирируемого воздуха ρ_a , кг/м³

$$\rho_a = \rho_0 \frac{273}{273+t}, \quad (1)$$

где ρ_0 - плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho_0 = 1,293$ кг/м³; t – температура воздуха, °C.

Динамический коэффициент вязкости μ , Па·с

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

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

1.3. Гидравлический расчет аспирационной системы

Как отмечалось выше, цель гидравлического расчета – определение полных потерь давления воздухопроводов АС и их диаметров.

Полные потери давления в воздухопроводах АС будут складываться из потерь давления в участках, составляющих главную магистраль, так как они соединены последовательно.

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

1. Задаются скоростью движения воздуха v . При этом необходимо помнить, что скорость для предотвращения залегания пыли не может быть менее 15 м/с на участках до пылеуловителя и должна составлять 12...15 м/с после него. При расчете воздухопроводов необходимо стремиться к тому, чтобы скорость воздуха по мере движения к пылеуловителю и от него несколько увеличивалась. Однако надо учитывать то, что высокие скорости влекут за собой большие потери давления, т.е. энергозатраты, поэтому не рекомендуется использовать скорости более 25 м/с.

2. Определяют расчетный диаметр воздухопровода d_p :

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot v}} \text{ мм}, \quad (3)$$

где Q – объем воздуха, м³/ч, определяемый по расчетной схеме АС. Например, на схеме, представленной на рис.1, расходы воздуха составляют: для участка 1 – $Q = 1700$ м³/ч; 2, 3 – $Q = 1700 + 800 = 2500$ м³/ч; 4 – $Q = 800$ м³/ч.

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

Нормируемые диаметры воздуховодов из листовой стали, мм:

100, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 325, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000.

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

3. Уточняют скорость движения воздуха v , м/с

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

4. Определяют динамическое давление P_o :

$$P_o = \frac{\rho_g \cdot v^2}{2} \text{ Па.} \quad (5)$$

5. Вычисляют потери давления на трение по длине участка P_l :

$$P_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot P_o \text{ Па,} \quad (6)$$

где l – длина расчетного участка, м, d – диаметр воздуховода, м.

Для этого сначала рассчитывают число Рейнольдса Re :

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho_g}{\mu}, \quad (7)$$

а затем коэффициент трения λ :

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

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

6. Определяют потери давления на местных сопротивлениях P_m :

$$P_m = \sum \xi \cdot P_o \text{ Па,} \quad (9)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке. Виды местных сопротивлений определяются по схеме, а их ориентировочные значения даны в табл. 2.

7. Рассчитывают суммарные потери давления P , Па, на участке:

$$P_1 = P_l + P_m. \quad (10)$$

После завершения расчета всех участков, составляющих главную магистраль, определяют полные потери давления в воздухопроводах АС как сумму потерь давления на данных участках. Например, для схемы на рисунке 1 это будут участки 1 – 2 – 3. Тогда для данного случая:

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3. \quad (11)$$

Анализ сказанного выше показывает, что при расчете воздухопроводов главной магистрали задаваемая скорость движения воздуха обуславливает величину возникающих в них потерь давления.

Таблица 2

**Ориентировочные значения коэффициентов
местных сопротивлений [14]**

Вход в пылеприемную воронку		0,2
Пылеприемная воронка (местный отсос)		0,15
Отводы (повороты под углом)	90 град	0,4
	45 град	0,2
Тройники	на проход	0,3
	на ответвление под углом 45 град	0,2
Переходы	вход	0,5
	в циклон	0,15
	в вентилятор	0,15
	выход	0,2
	из циклона	0,1
	из вентилятора	0,1
Выброс в атмосферу		1

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

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

Задаются стандартным диаметром воздухопровода d , и вычисляют скорость движения воздуха на участке v , используя зависимость (4).

Используя выражения (5)...(10), определяют потери давления P на участке.

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

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

Результаты гидравлического расчета воздухопроводов сводятся в таблицу, образец которой приведен в табл. 3.

Таблица 3

Результаты гидравлического расчета воздухопроводов

№ уч.	Q , м ³ /ч	l , м	v , м/с	P_d , Па	P_i , Па	$\sum \zeta$	P_m , Па	P , Па	Давление в магист- рали, Па	Откло- нение от P_p , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Графы 1...3 заполняются по исходным данным и схеме АС, графы 4...9 – по данным расчета, изложенным в пп. 4...10. В графу 10 вносятся давление в конце участков, составляющих главную магистраль, которое складывается из полных потерь давления на данном участке плюс потери в предшествующих ветвях. Например, в строку участка 1 вносятся потери давления на данном участке; в строку 2 – сумма потерь на участках 1 и 2; в строку 3 – сумма потерь на участках 1,2 и 3. Так как участок 3 является последним в главной магистрали, то значение, проставленное в графе 10, представляет собой полные потери давления P_c воздухопроводов АС. Графа 11 заполняется только для участков, которые подключены параллельно к главной магистрали.

Отклонение от располагаемого давления, %

$$\Delta = \frac{P_p - P}{P_p} \cdot 100 \quad (12)$$

2. Гидравлический расчет циклона

Гидравлический расчет циклонного пылеуловителя сводится к определению диаметра аппарата и его гидравлического сопротивления.

Определение указанных параметров осуществляется следующим образом.

1. Исходя из выбранного типа циклона, определяют значение оптимальной скорости газа $v_{оп}$ в сечении аппарата (табл. 4).

2. Рассчитывают необходимую площадь сечения циклона F , m^2 :

$$F = \frac{Q_{ц}}{3600 \cdot v_{оп}}, \quad (13)$$

где $Q_{ц}$ – расход очищаемого воздуха, $m^3/ч$, определяемый как сумма аспирируемых от местных отсосов расходов.

Таблица 4

Параметры, определяющие гидравлическое сопротивление и эффективность циклонов НИИОГАЗ

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

3. Определяют расчетный диаметр циклона D_p , м:

$$D_p = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}. \quad (14)$$

Полученный диаметр округляют до значения стандартного $D_{ц}$, мм, пользуясь рядом: 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000.

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

$$v = \frac{4Q_{ц}}{3600 \cdot \pi \cdot D_{ц}^2}. \quad (15)$$

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

$$P_{ц} = \xi_{ц} \frac{\rho_{г} \cdot v^2}{2}, \quad (16)$$

где $\xi_{ц}$ – коэффициент местного сопротивления циклона (табл. 4).

3. Расчет эффективности пылеулавливания в циклоне

Процессы сепарации пыли в циклоне достаточно сложны и в настоящее время изучены далеко не полностью. Этим объясняется многообразие методов расчета эффективности пылеулавливания циклонных аппаратов. Наибольшее распространение получила методика, разработанная НИИОГАЗом [14]. Исходными данными при расчете эффективности циклона по данной методике являются следующие.

1. Расход очищаемого воздуха $Q_{\text{ц}}$, м³/ч;
2. Плотность воздуха $\rho_{\text{в}}$, кг/м³;
3. Динамический коэффициент вязкости воздуха μ , Па·с;
4. Дисперсный состав пыли, задаваемый медианным диаметром $d_{\text{пм}}$, мкм, и дисперсией распределения частиц пыли $\lg \sigma_{\text{ч}}$;
5. Плотность частиц пыли $\rho_{\text{п}}$, кг/м³

Расчет эффективности пылеулавливания циклонным аппаратом осуществляется следующим образом:

1. Определяют диаметр частиц пыли, которые улавливаются циклоном с эффективностью 50% при рабочих условиях d_{50} , мкм:

$$d_{50} = d_{50}^{\text{т}} \sqrt{\frac{D_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{пт}} \cdot \mu}{D_{\text{т}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{т}}} \cdot \frac{v_{\text{опт}}}{v}} \quad (17)$$

где $d_{50}^{\text{т}}$ – диаметр частиц пыли, улавливаемых с эффективностью 50% при следующих условиях работы: скорость в сечении аппарата $v_{\text{опт}}$; диаметр циклона $D_{\text{т}} = 0,6$ м; плотность частиц пыли $\rho_{\text{пт}} = 1930$ кг/м³; динамический коэффициент вязкости $\mu_{\text{т}} = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с. $d_{50}^{\text{т}} = 3,65$ мкм (определяют по табл. 4 в зависимости от типа циклона). $D_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{п}}$, μ , v – параметры, соответствующие фактическим условиям работы циклона.

2. Рассчитывают параметр X , по которому определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(x)$ (табл. 5), представляющее собой эффективность пылеулавливания, выраженную в долях единицы:

$$X = \frac{\lg(d_{\text{пм}} / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{п}} + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}}} \quad (18)$$

где $d_{\text{пм}}$ – медианный диаметр частиц пыли (это такой средний диаметр, который делит всю массу частиц на две равные части по массе),

мкм; $\lg \sigma_{\text{ч}}$ – дисперсия функции распределения частиц по массе или среднеквадратичное значение функции распределения (таблица 4); $\lg \sigma_{\eta}$ – дисперсия распределения парциальных коэффициентов очистки циклонного пылеуловителя.

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

$$\eta_{\text{ц}} = \Phi(x) \cdot 100. \quad (19)$$

4. Концентрация пыли на выходе из аспирационной системы $C_{\text{к}}$, г/м³

$$C_{\text{к}} = C_{\text{н}} \frac{100 - \eta_{\text{ц}}}{100}. \quad (20)$$

Таблица 5

Значения нормальной функции распределения

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

5. Далее выполняют расчет рассеяния выбросов от данного источника загрязнения, определяют концентрацию пыли в приземном слое атмосферы, делают вывод об эффективности очистки и при необходимости используют другой пылеулавливающий аппарат.

4. Расчет и выбор побудителя тяги

1. Рассчитывают производительность вентилятора, м³/ч, учитывая подсосы воздуха в воздуховодах и пылеуловителе в количестве 10%:

$$Q_v = 1,1 \cdot Q_{\text{ц}} \quad (21)$$

2. Полное давление, развиваемое вентилятором P_v , Па:

$$P_v = 1,1 \cdot (P_c + P_{\text{ц}}) \quad (22)$$

3. Зная требуемые производительность и давление, подбирают вентилятор по рабочим характеристикам [15, 16]. По этим характеристикам определяют число оборотов и КПД вентилятора η (рис. 2, 3), а затем рассчитывают потребляемую мощность N , кВт:

$$N = \frac{P_v \cdot Q_v}{3600 \cdot \eta} \quad (23)$$

П р и м е р. Расчет выполняется применительно к схеме аспирационной системы, представленной на рис. 1. Исходные данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

Исходные данные*

Расход воздуха, м ³ /ч		Длина воздуховодов, м				Тип циклона	Температура воздуха, °C	Характеристики пыли			
Q_1	Q_2	l_1	l_2	l_3	l_4			$C_{\text{пы}}, \text{г/м}^3$	$lg\sigma_{\text{ч}}$	$d_{\text{пм}}, \text{мкм}$	$\rho_{\text{п}}, \text{кг/м}^3$
1700	800	15	4	15	5	ЦН-11	20	2	0,45	30	2600

* Расход воздуха принимается, исходя из вида материала, конструкции укрытия и других характеристик по данным [13]. Длина участков воздуховода определяется, исходя из плана цеха.

1. Гидравлический расчет воздухопроводов аспирационной системы

1.1. Определяем главную магистраль: 1-2-3

1.2. Рассчитаем параметры аспирируемого воздуха по формулам (1, 2):

- плотность ρ_e , кг/м³:

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

- динамический коэффициент вязкости, μ , Па·с:

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

1.3. Гидравлический расчет аспирационной системы

Расчет участка № 1

1. Задаемся скоростью движения воздуха на первом участке:

$$v = 15 \text{ м/с}$$

2. По формуле (3) определяем расчетный диаметр воздуховода d_p :

$$d_p = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1700}{3600 \cdot 3,14 \cdot 15}} = 0,2 \text{ м} = 200 \text{ мм}$$

Примем стандартный диаметр воздуховода $d = 200$ мм.

3. В связи с тем, что расчетный и стандартный диаметры воздуховода совпали, необходимости в уточнении скорости движения воздуха нет.

4. Определяем динамическое давление P_o по формуле (5):

$$P_o = \frac{\rho_e \cdot v^2}{2} = \frac{1,205 \cdot 15^2}{2} = 135,5 \text{ Па}$$

5. По формуле (6) определяем потери давления на трение по длине участка P_f , Па

Для этого сначала рассчитаем число Рейнольдса по формуле (7):

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

Затем по формуле (8) найдем коэффициент трения λ :

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

Тогда:

$$P_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot P_{\partial} = 0,0187 \frac{15}{0,2} 135,5 = 191 \text{ Па}$$

6. Определяем потери давления на местных сопротивлениях по формуле (9):

$$P_m = \sum \xi \cdot P_{\partial} = 1,05 \cdot 135,5 = 142 \text{ Па}$$

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

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

$\xi = 0,15$ – пылеприемная воронка, (табл. 2);

$\xi = 0,4$ – отвод под углом $>90^\circ$, (табл. 2);

$\xi = 0,3$ – тройник на проход, (табл. 2).

7. Суммарные потери давления на 1-м участке (10):

$$P_1 = P_l + P_m = 191 + 142 = 333 \text{ Па}$$

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

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

1.4. Расчет участка № 2

1. Задаемся скоростью движения воздуха 16 м/с .

2. Расчетный диаметр воздухопровода находим по формуле (3):

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

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

3. Уточняем скорость движения воздуха на участке по формуле (4):

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

4. По формуле (5) определяем динамическое давление:

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

5. Для определения потерь давления на трение по формулам (7, 8) находим:

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

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,1}{200} + \frac{68}{0,259 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,0183$$

Тогда согласно формуле (6):

$$P_l = 0,0183 \frac{4}{0,225} 184,5 = 60 \text{ Па}$$

6. По формуле (9) определяем потери давления на местных сопротивлениях:

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

7. Суммарные потери давления на втором участке:

$$P_2 = 60 + 92 = 152 \text{ Па}$$

1.5. Расчет участка № 3

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

2. Расчетный диаметр воздуховода согласно формуле (3):

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

Подбираем стандартный диаметр 250 мм.

3. Уточняем скорость движения воздуха на участке:

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

4. Определяем динамическое давление:

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

5. Для определения потерь давления на трение находим предварительно:

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

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

Тогда:

$$P_l = 0,0178 \frac{15}{0,25} 121,5 = 130 \text{ Па}$$

6. Потери давления на местных сопротивлениях:

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

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

7. Суммарные потери давления на участке согласно формуле (10):

$$P_3 = 130 + 322 = 452 \text{ Па}$$

После завершения расчета всех участков, составляющих главную магистраль, определяем полные потери давления в воздухопроводах аспирационной системы по формуле (11):

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 = 333 + 152 + 452 = 937 \text{ Па}$$

1.6. Расчет участка № 4, подключенного параллельно к главной магистрали

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

2. Определяем скорость движения воздуха, v , м/с:

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

3. Полученное значение скорости – очень большое, что вызовет высокие энергозатраты. Поэтому примем диаметр воздуховода 125 мм и снова рассчитаем скорость:

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

4. Определяем динамическое давление:

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

5. Для определения потерь давления на трение рассчитаем число Рейнольдса Re и коэффициент трения λ :

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

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

Тогда:

$$P_l = 0,02 \cdot \frac{5}{0,125} \cdot 197,4 = 158 \text{ Па}$$

6. Найдем потери давления на местных сопротивлениях:

$$P_m = 0,95 \cdot 197,4 = 187 \text{ Па}$$

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

7. Суммарные потери давления на участке:

$$P_4 = 158 + 187 = 345 \text{ Па}$$

– по формуле (12) найдем отклонение давления на параллельном участке № 4 от располагаемого:

$$\Delta = \frac{333 - 345}{333} \cdot 100 = -3,6\%$$

Полученное значение находится в пределах допустимого.

Результаты расчета воздухопроводов сводим в табл. 7.

Таблица 7

Результаты гидравлического расчета воздухопроводов

№ уч.	Q , м³/ч	l , м	v , м/с	P_o , Па	P_i , Па	$\sum \xi$	P_m , Па	P , Па	Давле- ние в маги- страли, Па	Откло- нение от P_P , %
1	1700	15	15,0	135,5	191	1,05	142	333	333	-
2	2500	4	17,5	184,5	60	0,5	92	152	485	-
3	2500	15	14,2	121,5	130	2,65	322	452	937	-
4	800	5	18,1	197,4	158	0,95	187	345	-	-3,6

2. Гидравлический расчет циклона

1. Исходя из выбранного или заданного типа циклона, определяем оптимальную скорость в сечении аппарата (табл. 4):

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

2. По формуле (13) рассчитаем необходимую площадь сечения циклона F , м²:

$$F = \frac{Q_{\text{ц}}}{3600 \cdot v_{\text{оп}}} = \frac{2500}{3600 \cdot 3,5} = 0,198 \text{ м}^2$$

3. По формуле (14) определяем расчетный диаметр циклона D_p , м:

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

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

4. По формуле (15) определяем действительную скорость газа в циклоне:

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

5. Тогда согласно формуле (16) потери давления в циклоне:

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

Коэффициент местного сопротивления циклона найдем по табл. 4.

$$\xi_{\text{ц}} = 245$$

3. Расчет эффективности пылеулавливания в циклоне

1. Определяем диаметр частиц пыли d_{50} , мкм, которые улавливаются в циклоне с эффективностью 50% при рабочих условиях (формула 17):

$$\begin{aligned} d_{50} &= d_{50}^{\text{т}} \sqrt{\frac{D_{\text{ц}}}{D_{\text{т}}} \cdot \frac{\rho_{\text{пт}}}{\rho_{\text{п}}} \cdot \frac{\mu}{\mu_{\text{т}}} \cdot \frac{v_{\text{опт}}}{v}} = \\ &= 3,65 \sqrt{\frac{0,5}{0,6} \cdot \frac{1930}{2600} \cdot \frac{18,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{3,5}} = 2,61 \text{ мкм} \end{aligned}$$

2. По формуле (18) рассчитаем параметр x , по которому определим значение нормальной функции распределения $\Phi(x)$:

$$X = \frac{\lg(d_{\text{пм}} / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{п}} + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}}} = x = \frac{\lg(30 / 2,61)}{\sqrt{0,352^2 + 0,45^2}} = 1,86$$

По таблице 5 определяем $\Phi(x)=0,969$

3. По формуле (19) рассчитаем эффективность улавливания пыли в циклоне:

$$\eta_{\text{ц}} = \Phi(x) \cdot 100 = 0,969 \cdot 100 = 96,9\%$$

4. По формуле (20) определяем концентрацию пыли в воздухе на выходе из циклона и аспирационной системы:

$$C_k = C_n \frac{100 - \eta_n}{100} = 2 \cdot \frac{100 - 96,9}{100} = 0,062 \text{ г/м}^3,$$

что находится в пределах допустимого.

4. Расчет и выбор побудителя тяги

1. Производительность вентилятора с учетом подсосов найдем по формуле (21):

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

2. По формуле (22) определяем полное давление, развиваемое вентилятором:

$$P_{\text{в}} = 1,1 \cdot (P_{\text{с}} + P_{\text{ц}}) = 1,1(937 + 1808) = 3019,5 \text{ Па}$$

3. Подбираем вентилятор ЦП 7-40 №5 по рабочим характеристикам [15, 16], используя приведенные на рис. 2, 3 данные. Затем по формуле (23) рассчитаем потребляемую мощность вентилятора:

$$N = \frac{P_{\text{в}} \cdot Q_{\text{в}}}{3600 \cdot \eta} = \frac{3019,5 \cdot 2750}{3600 \cdot 0,46} = 5014 \text{ кВт}$$

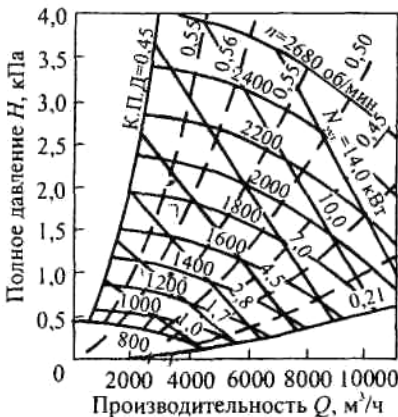


Рис. 2. Аэродинамическая характеристика вентилятора ЦП7-40 № 5

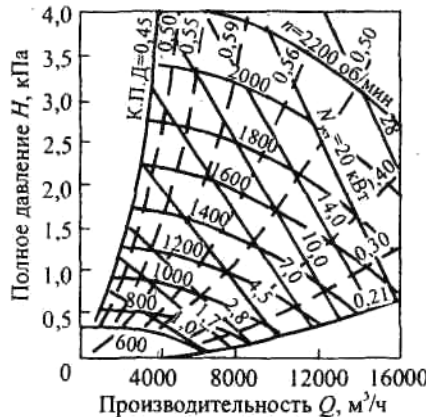


Рис. 3. Аэродинамическая характеристика вентилятора ЦП7-40 № 6

Потребляемая мощность и число оборотов в дальнейшем определяют выбор электродвигателя.

Задание № 2

Расчет искусственного освещения производственных помещений

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

Задачами светотехнического расчета могут быть:

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

Наиболее распространенным методом расчета искусственного освещения является метод коэффициента использования светового потока [3, 4]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (24)$$

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

E_n – требуемая минимальная нормируемая освещенность в помещении, лк, подбирается по СНиПу 23-05-95 [27] в зависимости от условий и характера зрительной работы (табл.8).

S – площадь освещаемой поверхности, т.е. площадь помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий старение лампы и запыленность воздуха в помещении. Определяется по СНиПу 23-05-95 (табл.9);

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

N – количество светильников, шт;

η – коэффициент использования светового потока светильника (в долях единицы), подбирается по справочным данным, исходя из типа светильника, индекса помещения (i) и коэффициентов отражения потолка, стен и расчетной поверхности табл. 10, 11, 12).

Индекс помещения i определяют по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{св}} \cdot (A + B)} \quad (25)$$

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

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

$$H_{\text{св}} = H - h_{\text{п}} - h_{\text{р}} \quad (26)$$

где H – высота помещения, м;

$h_{\text{п}}$ – расстояние от потолка до светильника;

$h_{\text{р}}$ – расстояние от пола до расчетной поверхности.

После определения требуемого светового потока лампы подбирают по справочным данным ближайшую стандартную лампу (табл. 13, 14) и находят отклонение ее светового потока от расчетного:

$$\Delta = \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{расч}}} \cdot 100, \% \quad (27)$$

Допускается отклонение в пределах от -10 % до +20 %.

Пример. Спроектировать общее равномерное освещение помещения лаборатории физико-механических испытаний светильниками типа ШОД с двумя люминесцентными лампами. Размеры помещения: длина $A = 18$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 3,2$ м. Коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}}$ 70%, стен $\rho_{\text{с}}$ 50 %, расчетной поверхности $\rho_{\text{р}}$ 30 %. Содержание пыли в воздухе помещения < 1 мг/м³.

1. По СНиПу 23-05-95 (табл.8) определяем $E_{\text{н}}$ в зависимости от характера зрительной работы:

$$E_{\text{н}} = 200 \text{ лк.}$$

2. Вычисляем площадь освещаемой поверхности, т.е. помещения:

$$S = A \cdot B = 18 \cdot 6 = 108 \text{ м}^2.$$

3. Коэффициент запаса лампы в зависимости от содержания пыли в помещении найдем по табл. 9:

$$K_3 = 1,5$$

Таблица 8

Нормы освещенности (выдержка из СНиП 23-05-95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
						Освещенность, лк	
						При комбинированном освещении	При общем освещении
1	2	3	4	5	6	7	8
Средней точности	Св. 0,5 до 1	IV	а	Малый	Темный	750	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200
			г	Средний Большой «	Средний Светлый « Средний	—	200
Малой точности	Св. 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	—	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	—	200
			г	Средний Большой «	Средний Светлый « Средний	—	200
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		—	200
Общее наблюдение за ходом производственного процесса:	—	VIII					
постоянное	—		а	То же		—	200
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении	—		б	«		—	75
периодическое при периодическом пребывании	—		в	«		—	50
общее наблюдение за инженерными коммуникациями	—		г	«		—	30

4. Коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп $z = 1,1$.

5. Задаемся количеством светильников N и определяем схему их навески. Принимаем 12 светильников, расположенных в два ряда.

Расстояние от стены до светильника принимается равным $(0,3...0,5) \cdot l$, где l – расстояние между светильниками, $l = 2$ м. Тогда $0,5 \cdot 2 = 1$ м.

6. Определяем индекс помещения по формуле (25):

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

$$H_{\text{св}} = H - h_{\text{п}} - h_{\text{р}}$$

Учитывая то, что $h_{\text{п}}$ составляет 0,2 м, а $h_{\text{р}}$ принимаем 0,8 м, определяем:

$$H_{\text{св}} = 3,2 - 0,2 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

$$\text{Тогда } i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{св}} \cdot (A + B)} = \frac{18 \cdot 6}{2,2 \cdot (18 + 6)} = 2,05$$

7. Коэффициент использования светового потока светильника типа ШОД с учетом заданных коэффициентов отражения потолка и стен определяем по табл.12. Принимается в долях единицы $\eta = 0,55$.

8. Тогда требуемый световой поток равен:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 108 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,55} = 5400 \text{ лм}$$

9. В светильнике – 2 лампы, поэтому требуемый световой поток одной лампы равен $5400:2=2700$ лм. По ГОСТу 6825–74 (табл. 14) подбираем ближайшую стандартную люминесцентную лампу ЛБ 40 со световым потоком 3000 лм.

10. Найдем отклонение светового потока выбранной стандартной лампы от требуемого по расчету:

$$\Delta = \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{расч}}} 100 = \frac{3000 - 2700}{2700} 100\% = 11,1\%,$$

что находится в пределах допустимого.

11. Таким образом, для освещения помещения лаборатории требуется 12 светильников типа ШОД с двумя люминесцентными лампами. Схема расположения светильников представлена на рис. 4.

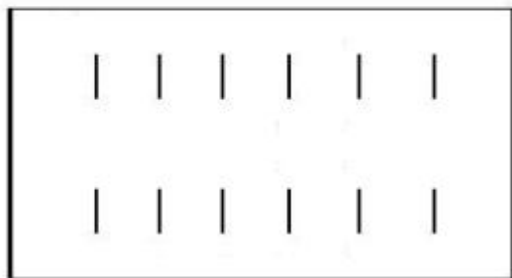


Рис. 4. Схема расположения светильников

Этот расчет может быть сведен к определению количества светильников в том случае, когда первоначально задаются типом лампы:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{\Phi \cdot \eta} \quad (28)$$

После определения N корректируют количество светильников с учетом равномерности их расположения в помещении. Затем определяют общий световой поток в помещении (расчетный и фактический) и находят отклонение по формуле (27).

Таблица 9

Значение коэффициента запаса, учитывающего старение лампы, запыленность воздуха и загрязнение светильника

Помещение	Коэффициент запаса K_3				
	При естественном освещении			При искусственном освещении	
	Вертикально	Наклонно	Горизонтально	Газоразрядные лампы	ГЛВД и ДРЛ
1. Производственные помещения с содержанием в воздушной среде:					
а) свыше 5 мг/м^3 пыли, дыма, копоти	1,5	1,7	2	2	1,7
б) от 1 до 5 мг/м^3	1,4	1,5	1,8	1,8	1,5
в) менее 1 мг/м^3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,3
2. Помещения общественных и жилых зданий	1,2	1,4	1,5	1,5	1,3

Таблица 10

**Ориентировочные значения коэффициентов отражения потолка ρ_n
и стен ρ_c производственных помещений**

Состояние потолка	ρ_n , %	Состояние стен	ρ_c , %
Свежепобеленный	70	Свежепобеленные с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленный в сырых помещениях	50	Свежепобеленные с окнами без штор	59
Чистый бетонный	50	Бетонные с окнами	30
Светлый деревянный (окрашенный)	50	Оклеенные светлыми обоями	30
Бетонный грязный	30	Грязные	10
Деревянный некрашенный	30	Кирпичные неоштукатуренные	10
Грязный	10	С темными обоями	10

Таблица 11

**Коэффициент использования
светильников ДРЛ**

Индекс помещения	Коэффициент использования светильников ДРЛ, %				
	Коэффициенты отражения ρ_n , ρ_c , ρ_p , %				
	70	70	50	30	0
	50	50	30	10	0
	30	10	10	10	0
0,5	30	30	23	20	18
0,6	37	36	30	27	26
0,7	42	40	33	31	29
0,8	45	43	37	34	33
0,9	47	45	40	37	35
1,0	49	47	41	40	38
1,1	54	50	43	42	40
1,25	55	53	47	44	42
1,5	59	56	50	48	45
1,75	62	58	53	50	48
2,0	67	60	59	53	50
2,25	69	62	57	54	52
2,5	71	63	59	57	53
3,0	73	66	60	58	56
3,5	75	67	61	59	57
4,0	77	69	63	61	58
5,0	79	70	66	63	60

Таблица 12

Коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами

i ρ	Тип светильника																	
	ОД			ПВЛ-6			ОДО			ОДОР			ШОД			ШЛП		
ρ _п , %	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30
ρ _с , %	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
i	Значение коэффициента использования, %																	
0,5	30	25	20	28	24	21	29	21	19	26	20	17	22	16	14	22	20	17
0,6	34	29	25	32	27	24	32	26	22	30	24	20	28	21	18	27	25	21
0,7	38	33	29	35	30	27	36	29	25	34	28	23	32	24	21	30	28	24
0,8	42	36	33	38	33	29	40	33	28	37	31	26	35	27	24	33	30	27
0,9	45	39	35	41	36	32	42	36	31	40	33	28	38	30	27	35	32	29
1,0	47	42	38	44	38	34	46	38	33	42	35	30	41	32	29	37	34	31
1,1	50	44	40	46	41	36	48	41	36	45	37	33	43	34	31	39	36	32
1,25	53	48	43	48	44	39	51	44	38	48	40	35	46	37	34	42	38	34
1,5	57	52	47	52	47	43	54	48	42	51	43	38	50	40	37	45	40	37
1,75	60	54	51	54	50	46	59	51	45	54	46	41	53	43	40	47	42	40
2,0	62	57	54	56	52	49	61	53	47	56	48	43	55	45	42	48	44	42
2,25	64	59	56	58	54	51	63	55	49	58	50	45	57	47	44	50	46	43
2,5	65	60	57	60	55	52	65	56	50	59	51	46	59	48	45	51	47	44
3,0	67	63	60	62	58	55	67	59	53	61	53	48	61	50	48	53	49	46
3,5	69	65	62	63	59	57	69	61	55	63	55	50	63	52	50	55	51	48
4,0	70	66	64	64	61	58	70	62	56	64	56	51	65	54	51	56	52	49
5,0	72	69	66	65	62	60	72	65	58	66	58	53	67	56	53	58	53	51

Таблица 13

Основные технические характеристики ламп ДРЛ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Размеры, мм		Цоколь
			диаметр	длина	
Четырехэлектродные лампы					
ДРЛ 80	80	2000	77	157	P27
ДРЛ125	125	4800	77	177	P27
ДРЛ 250-2	250	10000	92	230	P40
ДРЛ 400	400	18000	120	285	P40
ДРЛ 700	700	33000	140	310	P40
ДРЛ 1000-2	1000	50000	165	360	P40

Таблица 14

**Основные технические характеристики люминесцентных ламп
(ГОСТ 6825-74)**

Тип лампы	Мощ- ность, Вт	Световой поток, лм	Тип лампы	Мощ- ность, Вт	Световой поток, лм
1	2	3	4	5	6
ЛБV20	20	800	ЛТБ80	80	4720
ЛБV40	40	2360	ЛХБ20	20	950
ЛБ20	20	1180	ЛХБ40	40	2780
ЛБ40	40	3000	ЛХБ65	65	4100
ЛБ65	65	4550	ЛХБ80	80	4600
ЛБ80	80	5220	ЛД20	20	920
ЛБW30	30	1400	ЛД40	40	2340
ЛБК20	20	820	ЛД65	65	3570
ЛБК22	22	850	ЛД80	80	4070
ЛБК32	32	1500	ЛДЦ20	20	820
ЛБК40	40	2200	ЛДЦ40	40	2100
ЛТБ20	20	975	ЛДЦ65	65	3050
ЛТБ40	40	2780	ЛДЦ80	80	3560
ЛТБ65	65	4200			

Расчет освещения производственных помещений может быть выполнен также с использованием компьютерной программы DIALux, имеющейся на кафедре безопасности жизнедеятельности.

Задание № 3

Расчет акустического экрана

Одной из важных проблем современного производства является защита от шума и вибраций. Интенсивный шум возникает при работе дробилок, мельниц, вентиляторов, компрессоров, при факельном горении топлива, транспортировании материалов и т.д. Для защиты от шума применяют акустические экраны (рис. 5), звукоизолирующие кожухи, перегородки и другие средства коллективной и индивидуальной защиты.

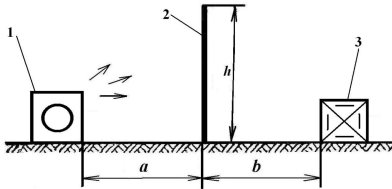


Рис. 5. Установка акустического экрана

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

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

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

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

Методика расчета [9]:

1. Вычисляют промежуточный коэффициент k по следующей формуле:

$$k = 0,05 \sqrt[4]{f} \frac{h^2 (l/b)^2}{1 + 4(a/h)^2}, \quad (29)$$

где f – частота звука, Гц;

h – высота экрана, м;

l – длина экрана, м;

a – расстояние от экрана до источника шума, м;

b – расстояние от экрана до рабочего места, м;

2. По расчетному значению k определяют эффективность экрана $\Delta L_{\text{э}}$ (табл. 15).

3. Определяют уровень звукового давления на рабочем месте $L_{р.м}$ после установки акустического экрана и сравнивают с допустимым уровнем звукового давления $L_{доп}$.

Таблица 15

Эффективность экрана в зависимости от коэффициента k

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

4 Делают вывод:

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

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

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

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

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

Решение. 1. По формуле (29) определяем коэффициент k , соответствующий частоте $f_1 = 8000$ Гц:

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

2. Используя приведенные в табл.15 данные, методом интерполяции определяем эффективность экрана на частоте 8000 Гц:

$$\Delta L_{э8000} = 19,5 \text{ дБ}$$

3. Уровень звукового давления на рабочем месте:

$$\Delta L_{р.м8000} = \Delta L_{8000} - \Delta L_{э8000} = 81 - 19,5 = 61,5 \text{ дБ, что меньше } L_{доп8000} = 69 \text{ дБ.}$$

Аналогично получаем $k_{4000} = 2,66$, $\Delta L_{э4000} = 17$ дБ и $\Delta L_{р.м4000} = 67$ дБ, что меньше $L_{доп4000} = 71$ дБ.

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

Задание № 4

Расчет звукопоглощающей облицовки

Значительное снижение шума обеспечивает облицовка внутренних поверхностей производственных помещений звукопоглощающими материалами (рис. 6, а). Наибольший акустический эффект от звукопоглощения наблюдается в зоне отраженного звука. В точках помещения, где преобладает прямой звук, эффективность звукопоглощения существенно снижается.

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

Количественной характеристикой эффективности поглощения звука является безразмерный коэффициент звукопоглощения α , представляющий собой отношение разности энергий падающего и отраженного звука к энергии падающего звука. Для обычных строительных материалов величина α сравнительно мала и не превышает 0,02...0,04 на средних и высоких частотах (табл.18). Поэтому в производственных помещениях значения прямого и отраженного звуков зачастую соиз-

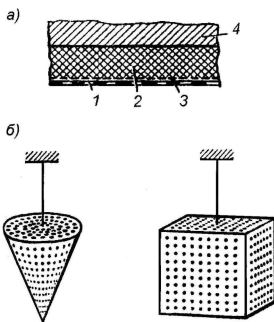


Рис. 6. Фрагмент звукопоглощающей облицовки (а) и штучные звукопоглотители (б):

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

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

Звукопоглощающую облицовку размещают на потолке и на верхних частях стен. Максимальное звукопоглощение достигается

при облицовке не менее 60% общей площади ограждающих поверхностей помещения (без учета площади окон).

Для снижения интенсивности отраженного звука в помещениях небольших объемов эффективно применение штучных звукопоглотителей разных конструкций, подвешиваемых к потолку (рис. 6, б).

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

Методика расчета [9]

1. Определяют объем помещения:

$$V = a \cdot b \cdot h, \text{ м}^3 \quad (30)$$

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

Затем рассчитывают площадь ограждающих поверхностей помещения:

$$S = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h), \text{ м}^2 \quad (31)$$

2. Определяют постоянную акустически необработанного помещения при частоте 1000 Гц $B_{1000}, \text{ м}^2$, в зависимости от объема помещения V из соотношений, представленных в табл. 16, либо по графической зависимости (рис. 7):

$$B_{1000} = V/10, \text{ м}^2 \quad (32)$$

Таблица 16

Соотношения для определения постоянной помещения B_{1000}

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

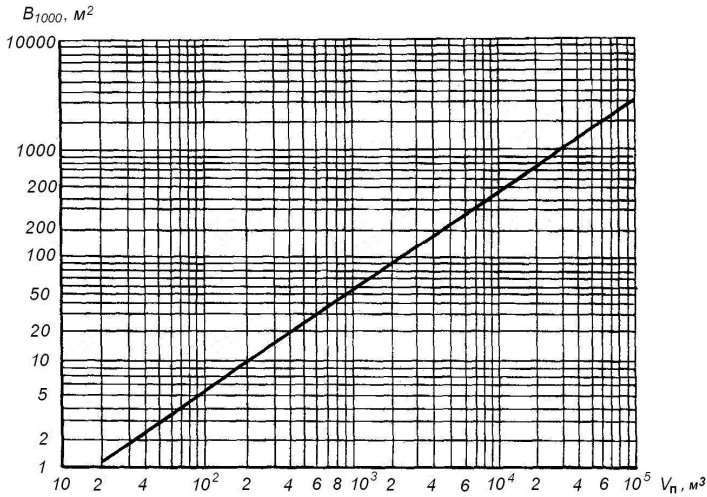


Рис. 7. Зависимость постоянной помещения B_{1000} на частоте 1000 Гц от объема помещения (V_n)

3. Определяют частотный множитель μ (по табл.17) и рассчитывают постоянную акустически необработанного помещения в октавных полосах:

$$B = B_{1000} \mu, \quad (33)$$

Таблица 17

Частотный множитель μ для помещений различных объемов

Объем помеще- ния, м ³	Значения μ на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Менее 200	0,80	0,75	0,70	0,80	1	1,4	1,8	2,5
200...1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
Более 1000	0,50	0,50	0,55	0,70	1	1,6	3,0	6,0

4. По найденной постоянной помещения B для каждой октавной полосы вычисляют эквивалентную площадь звукопоглощения, м²:

$$A = \frac{B \cdot S}{B + S}, \quad (34)$$

где S – общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

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

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{B_{8000} / n}, \quad (35)$$

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

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

6. Выбирают звукопоглощающий материал, который будет использован для облицовки, и определяют по справочным данным его коэффициенты звукопоглощения (табл. 18).

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

$$\Delta L = 10 \lg(B'/B), \quad (36)$$

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

$$B' = (A_1 + \Delta A) / (1 - \alpha_1), \quad (37)$$

где A_1 – эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями без звукопоглощающей облицовки, м^2 ,

$$A_1 = \alpha (S - S_0); \quad (38)$$

ΔA – суммарная дополнительная площадь звукопоглощения, м^2 ;

α – средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки:

$$\alpha = B / (B + S); \quad (39)$$

α_1 – средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения:

$$\alpha_1 = (A_1 + \Delta A) / S. \quad (40)$$

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

$$\Delta A = \alpha_0 S_0 = \alpha_0 A_{\text{шт}} n, \quad (41)$$

- где α_0 – коэффициент звукопоглощения конструкции облицовки (табл. 18);
 S_0 – суммарная площадь облицованных поверхностей, м²;
 $A_{\text{шт}}$ – площадь звукопоглощения одного штучного звукопоглотителя, м²;
 n – число штучных поглотителей.

Для расчета ΔL определяют:

- средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки по формуле (39) для каждой октавной полосы:

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

- эквивалентную площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой, по формуле (38):

$$A_{163} = \alpha_{63} (S - S_0),$$

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

- суммарную дополнительную площадь звукопоглощения от конструкции звукопоглощающей облицовки по формуле (41):

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

где α_0 – коэффициент звукопоглощения в каждой октавной полосе выбранного для облицовки материала (табл. 18);

- средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения в каждой октавной полосе (40):

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

- постоянную помещения после его облицовки звукопоглощающими материалами (формула 37):

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

Далее находят максимальное снижение уровня звукового давления в каждой октавной полосе (36):

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

8. Вычисляют достигнутые уровни звукового давления:

$$L_{\text{доc}} = L_{\text{суц}} - \Delta L \quad (42)$$

Результаты расчета вносят в таблицу 19.

Таблица 18

**Средние коэффициенты звукопоглощения
различных материалов, α_0 [12]**

Материал, конструкция	Значения α_0 , при средних геометрических частотах, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
Деревянная обшивка	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,11	0,11
Маты из стекловолокна (ВТУ 965-3528-58) толщиной 50 мм	0,13	0,13	0,32	0,64	0,62	0,59	0,59	0,59
Перфорированные панели размером 25×25 см и толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри	0,21	0,52	0,54	0,54	0,5	0,41	0,33	0,32
Поролон	0,2	0,2	0,22	0,3	0,75	0,77	0,71	0,6
Плиты перлитовые толщиной 30 мм	0,15	0,15	0,68	0,79	0,61	0,6	0,63	0,63
Плиты пензолитовые толщиной 50 мм, длиной 30 мм	0,52	0,52	0,65	0,5	0,48	0,5	0,59	0,59

Таблица 19

Уровни шума на рабочих местах

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

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

Решение. 1. Определяем объем помещения:

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

Затем рассчитываем площадь ограждающих поверхностей:

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

2. Определяем постоянную акустически необработанного помещения при частоте 1000 Гц B_{1000} , м^2 , в зависимости от объема помещения V из соотношений, представленных в табл.16:

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

3. Определяем частотный множитель μ (по табл.17) и рассчитываем постоянную акустически необработанного помещения в октавных полосах:

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

Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

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

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

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

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

где S – общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

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

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

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

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

6. Выбираем звукопоглощающий материал, который будет использован для облицовки (табл. 18), и выписываем его характеристики.

В качестве звукопоглощающего материала предполагается использование перфорированных панелей размером 25x25 см толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм.

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

- средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки рассчитываем по формуле (39). Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

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

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

- Эквивалентную площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой, по формуле (38). Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

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

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

Для остальных октавных полос аналогично получим: $A_{I\ 125} = 3,6 \text{ м}^2$; $A_{I\ 250} = 3,7 \text{ м}^2$; $A_{I\ 500} = 4,3 \text{ м}^2$; $A_{I\ 1000} = 5,7 \text{ м}^2$; $A_{I\ 2000} = 8,2 \text{ м}^2$; $A_{I\ 4000} = 12,3 \text{ м}^2$; $A_{I\ 8000} = 19,1 \text{ м}^2$.

- определяем суммарную дополнительную площадь звукопоглощения от конструкции звукопоглощающей облицовки по формуле (41). Для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц:

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

где $\alpha_{0\ 63} = 0,21$ - коэффициент звукопоглощения перфорированных панелей толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри на частоте 63 Гц (значения α_0 для остальных октавных полос указаны в табл. 18).

Аналогично получим для остальных октавных полос: $\Delta A_{125} = 93,6 \text{ м}^2$; $\Delta A_{250} = 97,2 \text{ м}^2$; $\Delta A_{500} = 97,2 \text{ м}^2$; $\Delta A_{1000} = 90 \text{ м}^2$; $\Delta A_{2000} = 73,8 \text{ м}^2$; $\Delta A_{4000} = 59,4 \text{ м}^2$; $\Delta A_{8000} = 57,6 \text{ м}^2$.

- средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц, формула (40): $\alpha_{1\ 63} = (A_{1\ 63} + \Delta A_{63})/S = (3,8 + 37,8)/252 = 0,165$. Аналогично рассчитываем α_1 для остальных октавных полос:

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

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

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

Тогда максимальное снижение уровня звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц при использовании звукопоглощающих покрытий в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука (на расстоянии от источников шума, превышающем 0,95 м), формула (36):

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

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

8. Вычисляем достигнутые в результате применения облицовки лаборатории звукопоглощающим материалом уровни звукового давления (формула 42):

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

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

Результаты расчета вносим в таблицу:

Таблица 20

Уровни шума на рабочих местах лаборатории

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

Вывод: как видно из табл. 20, в результате применения в качестве звукопоглощающей облицовки перфорированных панелей толщиной 3 см с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри на всех октавных частотах произошло снижение уровня шума, что свидетельствует о ее эффективности.

Задание № 5

Расчет и подбор звукоизолирующей стены

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

Примерное задание на проектирование: спроектировать стену с дверью, отгораживающую помещение, в котором установлены две дробилки. Размеры шумного помещения 24х18х6 м. Суммарный уровень звуковой мощности, излучаемый установленными дробилками, представлен в табл. 21.

Таблица 21

Уровень звуковой мощности в шумном помещении

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

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

Площадь двери $S_2 = 4 \text{ м}^2$.

В изолируемом помещении будут расположены кабины дистанционного управления.

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

$$R_{пр_i} = L_{p \text{ сум}} - L_{p \text{ доп}} - 10 \lg B_{ш} - 10 \lg B_{и} + 10 \lg S_i + 6 + 10 \lg n, \quad (43)$$

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

$L_{p \text{ доп}}$ – допустимый уровень звукового давления для изолируемого помещения, который подбирается по ГОСТ 12.1.003-83 (табл. 22);

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

$$B = B_{1000} \cdot \mu \quad (44)$$

где B_{1000} – постоянная помещения при частоте 1000 Гц, определяется в зависимости от объема помещения по таблице 16 или графику на рис.7.

μ – частотный множитель (табл. 17)

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

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

Исходные, справочные данные, промежуточные и окончательные результаты расчета сводим в табл. 23.

По результатам расчета на основании требуемой звукоизолирующей способности подбираются соответствующие элементы ограждения. (табл. 24, 25).

Методика и пример расчета [12]

1. Рассчитываем объем шумного помещения и определяем по справочным данным постоянную помещения при частоте 1000 Гц (рис. 7):

$$V_{\text{шп}} = 2592 \text{ м}^3$$

$$B_{\text{ш}1000} = 100 \text{ м}^2$$

2. Определяем частотный множитель μ для шумного помещения (табл. 17) и вносим в таблицу.

3. Определяем постоянную шумного помещения при частоте 63 Гц:

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

Аналогично рассчитываем для остальных октавных полос и вносим в таблицу 23.

4. Рассчитываем объем изолируемого помещения и определяем по справочным данным постоянную помещения при частоте 1000 Гц (рис. 7):

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

5. Определяем частотный множитель μ для изолируемого помещения (табл. 17) и вносим в таблицу.

Таблица 22

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

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

6. Определяем постоянную изолируемого помещения при частоте 63 Гц:

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

Аналогично определяем $B_{и}$ для остальных октавных полос и вносим в таблицу 23.

К расчету звукоизолирующей способности ограждения

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

7. Определяем суммарный уровень звукового давления в помещении $L_{p \text{ сум}}$ замером или расчетом, зная шумовые характеристики машин. В данном примере указанные характеристики приведены в задании (табл. 21).

8. Определяем по ГОСТу 12.1.003-83 (табл. 22) $L_{\text{рдоп}}$ и вносим в таблицу.

9. Рассчитываем $10 \lg n$:

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

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

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

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

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

Аналогично вычисляем для остальных октавных полос.

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

Для частоты 63 Гц:

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

Аналогично рассчитываем для остальных октавных полос.

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

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

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

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

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

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

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

17. По результатам расчета на основе $R_{\text{тр}1}$ и $R_{\text{тр}2}$ подбираем соответствующие элементы ограждения (табл. 24, 25). При этом величины требуемой звукоизолирующей способности со знаком «-» не принимаются во внимание.

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

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

Таблица 24

**Звукоизолирующая способность (дБ) стен и перегородок
акустически однослойных конструкций [12]**

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

Таблица 25

Звукоизолирующая способность (дБ) дверей [12]

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

Задание № 6

Расчет виброизолирующих оснований

Виброизоляторы применяют для уменьшения вибраций, передающихся на несущую конструкцию, и снижения благодаря этому уровня шума в помещении. Для агрегатов, имеющих частоту вращения менее 1800 об/мин, рекомендуется применять пружинные виброизоляторы (рис. 8, *а*); при частоте вращения агрегатов более 1800 об/мин – резиновые (рис. 8, *б*).

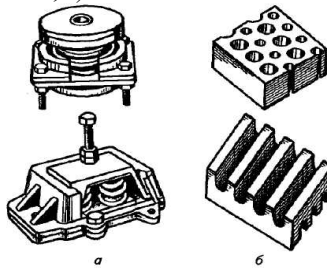


Рис. 8. Виброизолирующие опоры:
а – пружинные; *б* – резиновые

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

Виброизоляторы размещают в четырех точках по углам прямоугольника. При необходимости устанавливают дополнительные виброизоляторы симметрично относительно центра тяжести установки. Дополнительные виброизоляторы рекомендуется располагать в центральных точках прямых, соединяющих два угловых виброизолятора. Допускается применять кустовые виброизоляторы (от двух до шести в кусте).

Примерное задание на проектирование: выполнить проект виброизолирующего основания.

Методика расчета пружинных виброизоляторов [9]

1. Определяют требуемую эффективность виброизоляции $\Delta L_{\text{т}}$, (табл. 26).

Таблица 26

Эффективность виброизоляции различного оборудования

Вид оборудования	Значение ΔL_{τ} , дБА
Поршневые компрессоры мощностью, кВт:	
до 15	17
от 20 до 60	20
от 75 до 150	26
Центробежные насосы	26
Автономные кондиционеры	20
Вентиляторы с частотой вращения, об/мин ⁻¹ :	
более 800	26
500...800	20...26
350...500	17...20
200...350	11...17

2. Далее находят расчетную частоту возбуждающей силы, Гц,

$$f_v = n_v / 60, \quad (45)$$

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

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

3. Отношение C расчетной частоты возбуждающей силы f_v к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний $f_{\text{пд}}$ виброизолированной установки принимают в зависимости от требуемой эффективности виброизоляции ΔL_{τ} , из следующих значений (табл. 27):

Таблица 27

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

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

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

$$f_{\text{пд}} = f_{\text{в}}/C. \quad (46)$$

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

$$m_{\text{тр.}} = 2,5\varepsilon \cdot m_{\text{в}}/A_{\text{д}}, \quad (47)$$

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

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

Таблица 28

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

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

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

$$m_{\text{о}} = m_{\text{у}} + m_{\text{р}}, \quad (48)$$

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

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

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

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

где n_B – число виброизоляторов;

x – число пружин в одном виброisolаторе.

$$P_c = \frac{9,81m_0}{n_B \cdot x}, \quad (49)$$

$$P_{p \max} = P_c + \frac{\pi^2 \cdot f_B^2 \cdot A_d \cdot P_c}{1635} = P_c + 0,006 f_B^2 \cdot A_d \cdot P_c, \quad (50)$$

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

$$\Sigma K_B = 4\pi^2 \cdot f_{пл}^2 \cdot m_0 = 39,48 f_{пл}^2 \cdot m_0. \quad (51)$$

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

$$K_{тр} = \frac{\Sigma K_B}{n_B \cdot x}. \quad (52)$$

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

$$P_{т \max} \geq P_{p \max} \quad (53)$$

$$K_t \leq K_{тр} \quad (54)$$

где $P_{т \max}$ – максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н (табл. 29); K_t – жесткость пружин в продольном направлении, Н/м (табл. 29).

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

$$L_\phi = L - \Delta L - (23 \cdot \lg Q - 9) \quad (55)$$

где Q – масса одного м² стены, кг

Параметры типовых значений опорных пружин

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

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

Решение.

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

2. По формуле (45) найдем расчетную частоту возбуждающей силы:

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

3. Определяем отношение C расчетной частоты возбуждающей силы f_b , к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний $f_{\text{од}}$ виброизолированной установки методом интерполяции по табл. 27.

$$C = 4,44.$$

4. При этом значении параметра C по формуле (46) вычисляем предельно допустимую частоту:

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

5. По формуле (47) определяем требуемую общую массу виброизолированной установки:

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

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

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

7. Определяем статическую (формула 49) и максимальную (формула 50) нагрузки на одну пружину, принимая число виброизоляторов $n_v = 4$ и число пружин в одном виброisolаторе $x=2$:

$$P_c = 9,81 m_0 / (n_{вх}) = 9,81 \cdot 376 / (4 \cdot 2) = 461,07 H$$

Расчетная максимальная нагрузка на одну пружину:

$$P_{p\max} = P_c + 0,006 f_B^2 A_d P_c = 461,1 + 0,006 \cdot 16^2 \cdot 0,106 \cdot 461,1 = 536,2 H,$$

где $A_d = 0,106$ мм – рассчитанная с использованием интерполяции максимальная допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки (табл. 28).

8. Требуемая суммарная жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении, формула (51):

$$\Sigma K_B = 39,48 f_{0d}^2 m_0 = 39,48 \cdot 3,6^2 \cdot 376 = 192384,5, \text{ Н/м.}$$

9. Требуемая жесткость одной пружины в продольном направлении, формула (52):

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

10. Выбираем пружины марки ДО-41 (табл. 29), для которых проверим соблюдение условий:

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

$$K_{г} = 1,26 \text{ Н/м} \leq K_{тр} = 24048,1 \text{ Н/м}$$

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

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

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

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

Методика расчета резиновых виброизоляторов [9]

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

6. После определения массы установки вычисляют площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, m^2 :

$$F_B = 9,81 m_0 / \sigma, \quad (56)$$

где m_0 - общая масса установки, кг;

σ - расчетное статическое напряжение в резине: для мягкой резины $(1...3) \cdot 10^5$ Н/м², для резины с большей твердостью $(3,1...5) \cdot 10^5$ Н/м².

7. Рабочая высота виброизолятора:

$$H_p = \frac{E \cdot F_B}{\Sigma K_B}, \quad (57)$$

где E — динамический модуль упругости резины, Па;

ΣK_B — требуемая суммарная жесткость виброизоляторов (формула 51).

Динамический модуль упругости резины выбирают в зависимости от ее твердости по Шору (табл. 30):

Таблица 30

Динамический модуль упругости резины

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

8. Площадь поперечного сечения одного виброизолятора, м²,

$$F_1 = F_B / n_B, \quad (58)$$

где n_B — число виброизоляторов.

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

$$B = \sqrt{F_1}, \quad (59)$$

а для виброизоляторов цилиндрической формы — диаметр, м,

$$D = \sqrt{4F_1 / \pi}. \quad (60)$$

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

$$\text{для виброизоляторов призматической формы: } 1,5H_p \leq B \leq 8H_p \quad (61)$$

$$\text{для виброизоляторов цилиндрической формы: } 1,5H_p \leq D \leq 8H_p \quad (62)$$

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

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

$$H = H_p + 0,125 \cdot B, \text{ или } H = H_p + 0,125 \cdot D. \quad (63)$$

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

$$\Delta L_y = 20 \lg \left(\frac{f_B^2}{f_0^2} - 1 \right), \quad (64)$$

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

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

Н/м;

$F_{\text{В}}$ – уточненная площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, м²;

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

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

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

$$L = L_K - \Delta L_y$$

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

Пример. В шиномонтажном отделении мастерской установлен стационарный поршневой компрессор общей массой $m_0 = 264$ кг с приводом от электродвигателя мощностью 4 кВт и частотой вращения 1450 мин⁻¹. Частота вращения коленчатого вала компрессора составляет 1950 мин⁻¹. Определить уровень шума в помещении после установки резиновых виброизоляторов, если создаваемый компрессором

уровень звукового давления $L_K = 88$ дБА, а допустимый уровень звукового давления $L_{\text{доп}} = 80$ дБА.

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

Решение.

1. Для компрессора мощностью менее 15 кВт требуемая эффективность виброизоляции $\Delta L_{\tau} = 17$ дБА (табл. 26).

2. Принимая в качестве расчетной n_y частоту вращения вала электродвигателя, определим по формуле (45) расчетную частоту возбуждающей силы:

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

3. Используя интерполяцию, найдем отношение C расчетной частоты возбуждающей силы f_v к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний $f_{\text{од}}$ виброизолированной установки (табл. 27): $C = 2,9$.

4. По формуле (46) определяем предельно допустимую частоту:

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

5. Требуемая общая масса виброизолированной установки, формула (47):

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

Проверим соблюдение условия $m_0 \geq m_t$.

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

6. Площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, формула (56):

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

7. Принимая динамический модуль упругости резины $E = 25 \cdot 10^5$ Па (табл. 30), по формуле (57) определяем рабочую высоту каждого виброизолятора, м:

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

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

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

Тогда площадь поперечного сечения одного виброизолятора:

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

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

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

10. Проверим выполнение условия устойчивости виброизоляции при использовании виброизоляторов призматической формы (формула 61):

$$1,5H_{\text{р}} \leq B \leq 8H_{\text{р}}, \text{ или } 1,5 \cdot 0,03 \leq 0,046 \leq 8 \cdot 0,03; \quad 0,045 \leq 0,046 \leq 0,24,$$

следовательно, условие соблюдается.

11. По формуле (63) найдем полную высоту виброизолятора:

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

12. Проверим обеспечиваемую эффективность виброизоляции, формула (64):

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

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

собственных вертикальных колебаний;

$$\Sigma K_{\text{ВУ}} = \frac{E \cdot F_{\text{ВУ}}}{H_{\text{р}}} = \frac{25 \cdot 10^5 \cdot 0,0086}{0,03} = 716667 \text{ Н/м}$$
 - уточненная общая жесткость всех виброизоляторов;

$F_{\text{ВУ}} = 0,03 \text{ м}^2$ - уточненная площадь поперечного сечения всех вибро-

изоляторов.

13. Уровень шума после установки резиновых виброизоляторов:

$$L = L_{\text{К}} - \Delta L_{\text{у}} = 88 - 17,5 = 70,5 \text{ дБА,}$$

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

Задание № 7**Расчет защитного заземления оборудования**

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус или по другим причинам [25].

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

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

Заземляющее устройство – это совокупность заземлителя – проводников (электродов), соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем (рис. 9).

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

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

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

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

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

Расчет защитного заземления имеет целью определить основные параметры заземления – число, размеры и порядок размещения оди-

ночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на корпус не превышают допустимых значений.

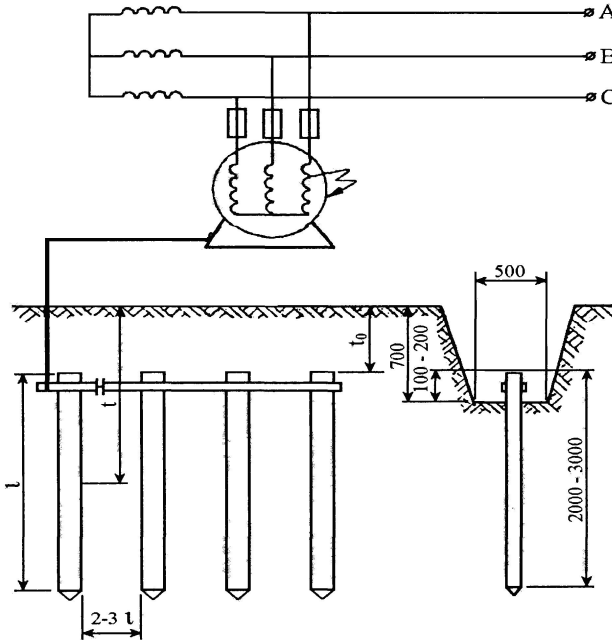


Рис. 9. Схема заземляющего устройства

Для расчета заземления необходимы:

- характеристика электроустановки (тип установки, рабочее напряжение, способы заземления нейтрали трансформатора и генератора);
- план электроустановки с указанием основных размеров и размещения оборудования;
- форма и размеры электродов проектируемого группового заземления, глубина их погружения в землю;
- данные измерений удельного сопротивления грунта на участке, где должен быть сооружен заземлитель, климатических условий, при которых производились эти измерения и характеристика климатической зоны (табл. 31 – 33).

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

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

Методика расчета [10,11]

1. Определяют тип заземляющего устройства и наибольшее допустимое значение его сопротивления R_d , установленное «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) [32].

- для установок до 1000 В:

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

4 Ом – во всех остальных случаях

- для установок выше 1000 В:

0,5 Ом

2. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{расч}}^B = \rho \cdot \varphi^B, \quad (65)$$

где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 31), φ^B - коэффициент сезонности, учитывающий возможность изменения сопротивления грунта в течение года, для вертикального электрода (табл. 32, 33).

Таблица 31

Приближенные значения удельного сопротивления грунта, Ом·м

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

Таблица 32

**Признаки климатических зон для определения
коэффициента сезонности φ**

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

Таблица 33

Коэффициент сезонности φ для однородной земли

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

3. Определяют сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода в зависимости от конфигурации (табл. 34). Для трубчатого или стержневого электрода:

$$R_b = \frac{\rho_{\text{расч}}^b}{2\pi L_b} \left(\ln \frac{2L_b}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L_b}{4t - L_b} \right), \quad (66)$$

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

L_b и d – длина и диаметр вертикального электрода, м, (для уголка с шириной b $d=0,95b$);

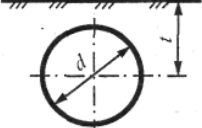
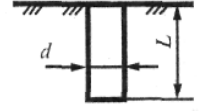
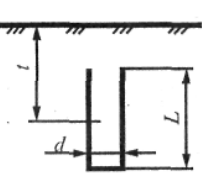
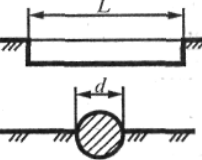
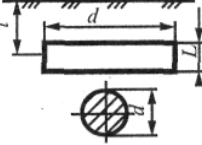
t – расстояние от середины электрода до поверхности земли, м;

$$t = \frac{L_b}{2} + t_0, \quad (67)$$

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

Таблица 34

Формулы для вычисления сопротивления одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте [17]

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

4. Определяют ориентировочное число вертикальных электродов:

$$n^{\text{ориент}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (68)$$

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

5. Находят ориентировочный коэффициент использования вертикальных электродов $\eta^{\text{ориент}}$ по табл. 35, используя метод интерполяции.

Таблица 35

Коэффициенты использования $\eta_{\text{в}}$ вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т.п.) без учета влияния полосы связи

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

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

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta^{\text{ориент}}} \quad (69)$$

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

при расположении вертикальных электродов в ряд (рис. 10, а):

$$L_{\text{г}} = a \cdot (n-1), \quad (70)$$

при расположении вертикальных электродов по контуру (рис. 10, б):

$$L_{\text{г}} = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (71)$$

где a – расстояние между вертикальными электродами, которое принимается равным одной, двум или трем длинам вертикального электрода; n – количество электродов, рассчитанное по формуле 68.

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

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

$$\rho_{\text{расч}}^{\Gamma} = \rho \cdot \varphi^{\Gamma}, \quad (72)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 31), φ^{Γ} – коэффициент сезонности для горизонтального электрода (табл. 33).

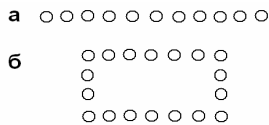


Рис. 10. Схемы размещения электродов группового заземлителя (вид в плане):
в ряд (а) и по контуру (б)

Таблица 36

**Коэффициенты использования η_{Γ} горизонтального
полосового электрода, соединяющего вертикальные
электроды (трубы, уголки и т.п.) группового заземлителя**

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные электроды размещены в ряд (рис.10, а)								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Вертикальные электроды размещены по контуру (рис. 10, б)								
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

9. Определяют сопротивление растеканию тока R_{Γ} , Ом, горизонтального электрода – стальной полосы, соединяющей вертикальные электроды:

$$R_r = \frac{\rho_{\text{расч}}^r}{2\pi L_r} \ln \frac{L_r^2}{0,5bt_0}, \quad (73)$$

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

10. Проверяют результирующее сопротивление всего заземляющего устройства по формуле:

$$R_{3V} = \frac{R_v R_r}{R_v \eta_r + R_r \eta_v n}, \quad (74)$$

где η_r, η_v – коэффициенты использования горизонтального и вертикального электродов соответственно, определяются по табл. 35, 36.

11. Заземляющее устройство должно удовлетворять условию:

$$R_{3V} \leq R_d. \quad (75)$$

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

Пример. Выполнить расчет защитного заземления электрооборудования производственного цеха, учитывая то, что в цехе установлено электрооборудование высокого напряжения (380 В) при установленной мощности электродвигателей 1000 Вт. Мощность питающего трансформатора превышает 100 кВ · А. В качестве вертикальных электродов предполагается использование стальных труб диаметром $d = 0,053$ м длиной $L_v = 3$ м, в качестве горизонтального электрода – соединительной полосы сечением 40 х 4 мм. Глубина заземления, $t_0 = 0,5$ м. Грунт – суглинок.

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

2. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта для вертикального электрода, Для этого находим предварительно по справочным данным $\rho = 100$ Ом·м (табл. 31) и коэффициент сезонности $\varphi^n = 1,5$ (табл. 33) (2-я климатическая зона при нормальной влажности).

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

3. Определяем сопротивление одиночного вертикального электрода $R_{\text{в}}$, по формуле (66), рассчитав предварительно величину t :

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

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

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

4. Определяем ориентировочное число вертикальных электродов по формуле (68): $n^{\text{ориент}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{40,8}{4 \cdot 1} = 10,2$.

Принимаем $n^{\text{ориент}} = 11$ шт.

5. Находим ориентировочный коэффициент использования вертикальных электродов по табл. 35, приняв отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине равным единице. Тогда, используя метод интерполяции:

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

6. Уточняем число вертикальных электродов по формуле (69):

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

Принимаем $n = 18$ шт и находим $\eta_{\text{в}} = 0,502$ (табл. 35).

7. Определяем длину горизонтального электрода при расположении вертикальных электродов в ряд (формула 70), учитывая то, что расстояние между электродами принято равным их длине $a = L_{\text{в}}$:

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

8. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтального электрода ($\varphi^{\text{г}}$ находим по табл. 33):

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

9. Рассчитываем сопротивление растеканию тока горизонтального электрода:

$$R_r = \frac{\rho_{\text{расч}}^r}{2\pi L_r} \ln \frac{L_r^2}{0,5bt_0} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 51} \ln \frac{51^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,5} = 11,7 \text{ Ом}$$

10. Вычисляем результирующее сопротивление заземляющего устройства, найдя коэффициент использования горизонтального электрода по табл. 36 – $\eta_r = 0,46$:

$$R_{3y} = \frac{R_b R_r}{R_b \eta_r + R_r \eta_b n} = \frac{40,8 \cdot 11,7}{40,8 \cdot 0,46 + 11,7 \cdot 0,502 \cdot 18} = 3,83 \text{ Ом}$$

11. Заземляющее устройство удовлетворяет условию: $R_{3y} < R_d$, так как $3,83 < 4 \text{ Ом}$.

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

2.2. Содержание раздела «Безопасность жизнедеятельности» выпускной квалификационной работы с расширенной научной частью и научно-исследовательской работы

В разделе рекомендуется отразить следующие основные вопросы

1. Анализ вредных и опасных производственных факторов при выполнении работы.
2. Характеристика используемых в процессе исследований материалов и оборудования в аспекте безопасности (с указанием предельно допустимых концентраций (ПДК) и предельно допустимых уровней (ПДУ).
3. Рекомендуемые мероприятия и инженерные решения по улучшению условий труда и обеспечению безопасности работ в лаборатории (с выполнением соответствующих расчетов).
4. Охрана окружающей среды. В этом подразделе необходимо рассмотреть актуальность темы и предлагаемых решений в аспекте экологической безопасности.

Раздел «Безопасность жизнедеятельности» может быть выполнен также применительно к проектной части работы либо к условиям производства, разработанного на основе результатов научных исследований, согласно разделу 2.1.

Библиографический список

Учебники и учебные пособия

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с. – ISBN 978-5-06-004171-2.
2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда): учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2007. – 335 с. – ISBN 978-5-06-005830-7
3. Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов / Е.В. Глебова. – М.: Высш. шк., 2007. – 382 с. – ISBN 978-5-06-004897-1.
4. Девисилов В.А. Охрана труда / В.А. Девисилов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ-ИНФРА-М. – 2007. – 448 с. – ISBN 978-5-91134-111-4 (ФОРУМ); ISBN 978-5-16-002984-9 (ИНФРА-М).
5. Безопасность жизнедеятельности. Конспект лекций / Гавриленко И.Г. и др. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ. – 2002. – 113 с.
6. Щербуняев Г.Ф. Охрана труда на цементных заводах / Г.Ф. Щербуняев, Г.И. Боханько – М.: Стройиздат. – 1981. – 88 с.
7. Шапилова М.В. Охрана труда в производстве стеклянной тары и сортовой посуды / М.В. Шапилова, Ю.А. Барышникова. – М.: Легпромбытиздат. – 1989. – 203 с.
8. Откидач В.В. Охрана труда в огнеупорном производстве / В. В. Откидач. – Киев: Техника. – 1982. – 159 с.
9. Курдюмов В.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности / В. И. Курдюмов, Б. И. Зотов. – М.: Колос, 2005. – 216 с. – ISBN 5-9532-0289-X.
10. Безопасность труда в строительстве (Инженерные расчеты по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»): учебное пособие / Д.В. Коптев, Г.Г. Орлов, В.И. Булыгин. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 352 с. – ISBN 5-93093-197-6.
11. Инженерные расчеты систем безопасности труда и промышленной экологии / Под общ. ред. А.Ф. Борисова. – Нижний Новгород: Изд-во «Вента-2», 2000. – 256 с.
12. Калмыков А.В. Борьба с пылью и шумом на обогащательных фабриках / А.В. Калмыков, Л.Ф. Журбинский. – М.: Недра, 1984. – 222 с.
13. Альбом унифицированного нестандартного оборудования систем аспирации для предприятий по производству силикатного кирпича / Белгород: областная типография, 1987. – 78 с.

14. Справочник по пыли- и золоулавливанию / под общ. ред. А.А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
15. Очистка газов: справочное издание / В. С. Швыдкий и др. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 581 с.
16. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2 ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. И.Г. Старовойтова. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.
17. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов / П.А. Долин – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.

Законодательные и нормативно-технические документы

18. Трудовой кодекс Российской Федерации. С изменениями и дополнениями на 15 сентября 2007 года. – М.: Изд-во ЭКСМО, 2007. – 320 с.
19. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – 5-е изд., с изм. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. – 28 с.
20. ГОСТ 12.0.002 – 80 ССБТ. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов офиц., 1980.
21. ГОСТ 12.0.003 – 74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Госкомитет СССР по стандартам. Переиздан в 1983. – 4 с.
22. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Госкомитет СССР по стандартам. Переиздан в 1985. – 5 с.
23. ГОСТ 12.1.005 – 88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 75 с.
24. ГОСТ 12.1.003 – 83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 22 с.
25. ГОСТ 12.1.030 – 81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: Госкомитет по стандартам, 1984. – 10 с.
26. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. – Изд-во официальное. – М.: . – 2006. – 54 с.
27. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение / Госстрой России. – Изд. Официальное. – М., 2004. – 53 с.
28. СНиП 23-03-2003. Защита от шума / Госстрой России. – СПб.: ДЕАН, 2004. – 75 с.

29. СН 2.2.4/2.1.8.566 – 96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.- М: Минздрав РФ, 1997. – 30 с.

30. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – СПб.: ДЕАН, 2005. – 41 с.

31. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.doclad.ru/Basesdoc/11/11705/index.htm>.

32. Правила устройства электроустановок (Безопасность и охрана труда). – М: Омега-Л, 2007. – 268 с.

Оглавление

Введение.....	3
1. Общие указания.....	3
2. Содержание раздела «Безопасность жизнедеятельности».....	4
2.1. Содержание раздела «Безопасность жизнедеятельности» дипломного проекта.....	4
2.1.1. Варианты заданий для выполнения расчетов	5
Задание № 1. Гидравлический расчет аспирационной системы	5
Задание № 2. Расчет искусственного освещения производст- венных помещений	24
Задание № 3. Расчет акустического экрана.....	32
Задание № 4. Расчет звукопоглощающей облицовки.....	34
Задание № 5. Расчет и подбор звукоизолирующей стены	43
Задание № 6. Расчет виброизолирующих оснований	50
Задание № 7. Расчет защитного заземления оборудования.....	61
2.2. Содержание раздела «Безопасность жизнедеятельности» выпускной квалификационной работы с расширенной науч- ной частью и научно-исследовательской работы.....	70
Библиографический список.....	71

Учебное издание

Методические указания
к выполнению раздела «Безопасность жизнедеятельности»
выпускной квалификационной работы для студентов
специальности 240304 – Химическая технология
тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Составители: Беляева Валентина Ивановна
Климова Елена Владимировна
Овсянников Юрий Григорьевич

Подписано в печать 26.04.10. Формат 60×84/16. Усл. печ. л.4,3. Уч-изд. л.4,6.

Тираж 170 экз. Заказ № 197 Цена 21р.04к.

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом универси-
тете им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46