

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КАФЕДРА «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЗАЩИТА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

**РАСЧЁТ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Промышленная безопасность и охрана труда»

Ростов – на – Дону  
2020

Составители: д.т.н., профессор Месхи Б.Ч.  
к.х.н., доцент Лоскутникова И.Н.  
к.т.н. доцент Богданова И.В.

**УДК 331.45(075.8)**

**ББК 30н**

**К 93**

Расчёт средств обеспечения безопасности. Методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «**Промышленная безопасность и охрана труда**» для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность, профиль «Инженерная защита окружающей среды» /ДГТУ. Ростов-на-Дону. 2020. 139 с.

Печатается по решению методической комиссии гуманитарного факультета.

Научный редактор – профессор, д.т.н. Месхи Б.Ч.

Рецензент – профессор, д.т.н. Чукарин А.Н.

© Издательский центр ДГТУ

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Формирование техносферы высокого (допустимого) качества по отношению к человеку возможно на основе превентивного анализа опасностей и устранения ноксосферных зон в техносфере за счет ограничения потоков от источников опасностей и применения средств защиты на стадиях проектирования и использования техносферы.

Для решения этих человекозащитных задач каждый специалист должен знать не только круг реальных опасностей окружающего нас мира, но и средства защиты от них. Ему необходимы также знания в области анатомо-физиологических свойств человека и его реакций на воздействие негативных факторов; комплексного представления об источниках опасностей; количестве и значимости травмирующих и вредных факторов среды обитания; принципов и методов качественного и количественного анализа опасностей. Все это позволяет сформулировать общую стратегию и принципы обеспечения безопасности жизнедеятельности; подойти к разработке и применению средств защиты в негативных ситуациях с общих позиций.

Одним из основополагающих стандартов системы является ГОСТ 12.0.004 «Организация обучения безопасности труда», который предусматривает включение вопросов безопасности труда в дипломные проекты и курсовые работы студентов технических высших учебных заведений. Это способствует улучшению качества обучения будущих специалистов, степени их подготовки для решения многообразных вопросов по улучшению состояния охраны труда как при создании новых технологий, машин и оборудования, так и при реконструкции и расширении действующих предприятий, модернизации производственных процессов.

Настоящее учебное пособие содержит научно обоснованные и проверенные на практике принципы расчета различных инженерных решений, способствующих улучшению безопасности труда, а также необходимые

справочные данные.

Основная задача пособия — способствовать формированию у студентов профессиональных методических и расчетных навыков в области безопасности труда, улучшению качества подготовки будущих специалистов для решения различных вопросов охраны труда на производстве. Используя данное учебное пособие, студенты смогут обосновать выбор средств обеспечения безопасности при выполнении курсовой работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности», а также разработать раздел «Безопасность и экологичность проекта» при выполнении дипломного проектирования.

Благодаря обстоятельной разработке разделов курсовых проектов и дипломных работ, посвященных проблемам обеспечения безопасности труда, на основе исходных данных действующих предприятий и производств можно провести их техническую экспертизу на предмет соответствия нормативным требованиям охраны труда при выполнении различных технологических процессов и эксплуатации оборудования, а также разработать инженерные решения, необходимые для создания здоровых и безопасных условий труда. Кроме того, выполнение конкретных производственных задач, направленных на обеспечение здоровых и безопасных условий труда, способствует не только формированию инженерных навыков, которые постоянно необходимы в практической работе по специальности, но и выработке тактики и стратегии прогнозирования и планирования мероприятий по безопасности труда.

## **1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

### ***Цель, задачи и требования к курсовой работе***

Курсовая работа является одной из важнейших форм учебного процесса, которая выполняется в соответствии с учебными планами и направлена преимущественно на практическую подготовку. Курсовая работа носит учебно-исследовательский характер, и в то же время она должна опираться на новейшие достижения науки в своей сфере.

#### ***Цель курсовой работы:***

а) закрепить теоретические знания по курсу «Промышленная безопасность и охрана труда»; б) овладеть навыками самостоятельной работы при обосновании и выборе технических средств защиты; в) выработать умения формулировать суждения и выводы, логически последовательно и доказательно их излагать; г) выработать умение публичной защиты; д) подготовиться к более сложной задаче - выполнению дипломной

работы.

**Структура курсовой работы** должна способствовать раскрытию заданной темы и быть аналогична структуре дипломной работы: иметь титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованных источников и приложения.

*Во введении* обосновывается актуальность выбранной темы, определяется общая цель курсовой работы, конкретные ее задачи и методы исследования. Далее следует остановиться на *описании степени разработанности темы в научной литературе*. Здесь необходимо привести названия основных источников, охарактеризовать сложившиеся подходы и методы, отметить и оценить индивидуальный вклад в разработку проблемы различных ученых. Вместе с тем следует показать, что еще осталось неразработанного в ней, так, чтобы было понятно, с какой целью лично вы за нее беретесь.

*Основная часть работы* включает три главы :

1. Анализ опасных и вредных факторов, характерных для заданного производственного процесса (участка).
2. Методы и средства обеспечения безопасности работающих в рассматриваемом цехе (на участке).
3. Инженерные решения по обеспечению безопасности при действии характерных опасных и вредных факторов заданного производственного процесса (участка).

Главы разбивают на разделы и подразделы. Каждая глава посвящается решению задач, сформулированных во введении, и заканчивается констатацией итогов и выводов.

*Заключение* содержит сделанные автором работы выводы, итоги исследования.

*Список использованной литературы* должен быть составлен в соответствии с установленными требованиями. Если в работе имеются приложения, они оформляются на отдельных листах, и их следует пронумеровать.

Необходимо избегать логических ошибок, как например, одинаковое название курсовой работы и одной из ее глав.

Содержание работы следует иллюстрировать таблицами, графическим материалом (рисунками, схемами, графиками, диаграммами и т. п.).

Написание курсовой работы предполагает более глубокое изучение избранной темы, нежели она раскрывается в учебной литературе.

Объем курсовой работы - 20-30 страниц печатного текста, выполненного через 1,5 межстрочных интервала. Из этого объема около 10 % обычно

занимает введение, от 5 до 10 % - заключение. Работу сшивают в папку-скоросшиватель или переплетают.

Выполнение курсовой работы осуществляется под руководством преподавателя - руководителя работы. Темы курсовых работ определяется на основе темы дипломного проекта. Курсовая работа может быть использована для выполнения главы «Безопасность и экологичность» выпускной квалификационной работы. Графики их выполнения разрабатывает и утверждает кафедра «Безопасность жизнедеятельности и Защита окружающей среды» Донского Государственного университета.

Руководство начинается с выдачи задания и продолжается в форме консультаций.

Студент во время консультаций уточняет круг вопросов, подлежащих изучению, составляет план исследования, определяет структуру работы, сроки выполнения ее этапов, необходимую литературу и другие материалы, а также устраняет недостатки в работе, на которые указывает руководитель.

**При заочной форме обучения** курсовая работа является основной формой межсессионного контроля студенческих знаний. Студенты заочного отделения выполняют работу на материалах предприятий (организаций, учреждений), где они работают или проходят практику. Также, на усмотрение преподавателя, возможно выполнение курсовой работы по вариантам, представленным в таблицах 1.1; 1.2.

**Задание на выполнение курсовой работы студентам заочного отделения выдаёт преподаватель во время установочной сессии.**

Если курсовая работа по заключению преподавателя является неудовлетворительной и подлежит переработке, то после исправления она представляется на повторную проверку с обязательным представлением первоначального варианта.

**Защита работы** производится на заседании специальной комиссии, состоящей из двух-трех человек, один из которых - руководитель курсовой работы. Состав комиссии утверждается кафедрой за 10 - 15 дней до защиты.

Курсовая работа должна быть защищена до начала экзаменационной сессии. По материалам курсовой работы студент выполняет презентацию.

На защите студент обязан кратко изложить содержание работы, дать исчерпывающие ответы на замечания рецензента и вопросы членов комиссии. *Критериями оценки курсовой работы* являются актуальность выбранной темы, глубина освоения материала, качество подбора и использования источников, степень самостоятельности выводов, общая

культура изложения.

**Окончательная оценка курсовой работы выставляется комиссией по итогам защиты и качеству выполненной работы.**

Готовая курсовая работа сдается на кафедру.

### **Примерные темы курсовых работ**

#### **ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ**

ТАБЛИЦА 1.1

<b>№ варианта</b>	<b>Тема курсовой работы</b>	<b>Задание для расчетной части</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	Обеспечение безопасных условий труда в сборочном цехе. Проектирование естественного освещения и разработка мероприятий по защите от шума.	- расчет бокового естественного освещения; - расчет звукоизолирующего кожуха
2	Обеспечение безопасных условий труда в малярном цехе. Проектирование искусственного освещения и разработка мероприятий по пожаробезопасности.	- расчет искусственного освещения лампами накаливания; - расчет взрывоопасности помещения; - расчет эвакуационных путей
3	Обеспечение безопасных условий труда в цехе металлопокрытий. Проектирование искусственного освещения и разработка мероприятий по улучшению параметров микроклимата.	- расчет вентиляции по избытку вредных веществ; - расчет искусственного освещения люминесцентными лампами методом коэффициента использования светового потока
4	Обеспечение безопасных условий труда в электромонтажном цехе.	- расчет искусственного освещения по удельной

	Проектирование искусственного освещения и разработка мероприятий по электробезопасности.	мощности; - проектирование системы защитного заземления
5	Обеспечение безопасных условий труда в электромонтажном цехе. Проектирование искусственного освещения и разработка мероприятий по электробезопасности.	- расчет искусственного освещения с использованием пространственных изолюкс; - проектирование системы защитного зануления
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
6	Обеспечение безопасных условий труда в сварочном цехе. Разработка мероприятий по улучшению параметров микроклимата и электробезопасности.	- расчет механической вентиляции по избытку вредных веществ; - расчет взрывоопасности помещения
7	Обеспечение безопасных условий труда в термическом цехе. Разработка мероприятий по улучшению параметров микроклимата и пожаробезопасности.	- расчет механической вентиляции по избыткам явного тепла; - расчет эвакуационных путей; - расчет пожарного запаса воды
8	Обеспечение безопасных условий труда в деревообрабатывающем цехе. Разработка мероприятий по улучшению параметров микроклимата и пожаробезопасности.	- расчет механической вентиляции по избытку вредных веществ; - расчет эвакуационных путей; - расчет пожарного запаса воды
9	Обеспечение безопасных условий труда в молярном цехе. Разработка мероприятий по улучшению параметров микроклимата и проектирование искусственного	- расчет механической вентиляции по избытку вредных веществ; - расчет искусственного освещения с



	освещения.	использованием люминесцентных ламп
10	Обеспечение безопасных условий труда в гальваническом цехе. Разработка мероприятий по улучшению параметров микроклимата и электробезопасности.	- расчет механической вентиляции по избытку вредных веществ; - проектирование системы защитного заземления
11	Обеспечение безопасных условий труда в сборочном цехе. Разработка мероприятий по защите от шума и улучшению параметров микроклимата.	- расчет звукопоглощающих облицовок; - расчет естественной канальной вентиляции
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
12	Обеспечение безопасных условий труда в механическом цехе. Разработка мероприятий по защите от шума и электробезопасности.	- расчет звукоизолирующего кожуха; - проектирование системы защитного зануления
13	Обеспечение безопасных условий труда в механическом цехе. Разработка мероприятий по защите от шума и улучшению параметров микроклимата.	- расчет звукопоглощающих экранов; - расчет естественной канальной вентиляции
14	Обеспечение безопасных условий труда в сварочном цехе. Разработка мероприятий по электробезопасности и проектирование освещения.	- расчет прожекторного освещения; - проектирование системы защитного зануления
15	Обеспечение безопасных условий труда в механическом цехе. Разработка мероприятий по защите	- расчет звукоизолирующего кожуха;

	от шума и улучшению параметров микроклимата.	- расчет аэрации
16	Обеспечение безопасных условий труда в механическом цехе. Разработка мероприятий по защите от шума и проектирование освещения.	- расчет звукопоглощающих облицовок; - расчет бокового естественного освещения
17	Обеспечение безопасных условий труда в цехе цветного литья. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата.	- расчет механической вентиляции по избыткам явного тепла; - расчет показателей теплового состояния человека
18	Обеспечение безопасных условий труда в цехе холодной штамповки. Разработка мероприятий по защите от производственной вибрации и проектирование системы искусственного освещения.	- расчет резиновых виброизоляторов; - расчет искусственного освещения с использованием пространственных изолюкс
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
19	Обеспечение безопасных условий труда в сборочном цехе. Разработка мероприятий по электробезопасности и проектирование системы искусственного освещения.	- проектирование системы защитного зануления; - расчет искусственного освещения люминесцентными лампами методом коэффициента использования светового потока
20	Обеспечение безопасных условий труда в цехе горячей штамповки. Разработка мероприятий по защите	- расчет пружинных виброизоляторов; - расчет

	от производственной вибрации и шума.	звукопоглощающих экранов
21	Обеспечение безопасных условий труда в цехе ковкого чугуна. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата, пожаробезопасности и проектирование системы освещения.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расчет аэрации;</li> <li>- расчет показателей теплового состояния человека;</li> <li>- расчет естественного верхнего освещения;</li> <li>- расчет пожарного запаса воды</li> </ul>
22	Обеспечение безопасных условий труда в гальваническом цехе. Проектирование искусственного освещения и разработка мероприятий по электробезопасности.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расчет искусственного освещения лампами накаливания;</li> <li>- проектирование системы защитного зануления</li> </ul>
23	Обеспечение безопасных условий труда в сварочном цехе. Разработка мероприятий по пожаробезопасности, оптимизации параметров микроклимата и проектирование освещения.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расчет аэрации;</li> <li>- расчет взрывоопасности помещения;</li> <li>- расчет прожекторного освещения</li> </ul>
24	Обеспечение безопасных условий труда в гальваническом цехе. Проектирование искусственного освещения и разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расчет искусственного освещения люминесцентными лампами;</li> <li>- расчет механической вентиляции по избытку вредных веществ</li> </ul>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
25	Обеспечение безопасных условий труда в цехе стального литья. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата, пожаробезопасности и проектирование освещения.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расчет механической вентиляции по избытку явного тепла;</li> <li>- расчет показателей теплового состояния человека;</li> <li>- расчет естественного</li> </ul>

		верхнего освещения; - расчет эвакуационных путей
26	Обеспечение безопасных условий труда в молярном цехе. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата и пожаробезопасности.	- расчет взрывоопасности помещения; - расчет эвакуационных путей; - расчет пожарного запаса воды; - расчет естественной канальной вентиляции
27	Обеспечение безопасных условий труда в гальваническом цехе. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата.	- расчет механической вентиляции по избытку вредных веществ; - расчет естественной канальной вентиляции
28	Обеспечение безопасных условий труда в цехе металлопокрытий. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата и пожаробезопасности.	- расчет механической вентиляции по избытку явного тепла; - расчет аэрации; - расчет пожарного запаса воды
29	Обеспечение безопасных условий труда в отделе информационных технологий. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата, защите от шума и проектирование системы освещения.	- расчет естественной канальной вентиляции; - расчет искусственного освещения люминесцентными лампами; - расчет звукопоглощающих облицовок
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
30	Обеспечение безопасных условий	- расчет естественного

	труда в конструкторском бюро. Разработка мероприятий по оптимизации параметров микроклимата и проектирование системы освещения.	бокового освещения; - расчет освещения по удельной мощности; - расчет естественной канальной вентиляции
--	---	---

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЁТНОЙ ЧАСТИ

ТАБЛИЦА 1.2.

Вариант	Наименование цеха	Технологическая операция	Тяжесть работ (№ варианта по табл. 1.3)	Характер зрительных работ (№ варианта по табл. 1.4)	Характеристика помещения								
					Размеры помещения, м			Микроклимат			Освещенность, лк		Шум, дБ
					Ширина В	Длина L	Высота Н	Температура, °С	Влажность, %	Крат-ность воздухообмена, 1/ч	Общее освещение	От местных светильников	Фактический уровень шума (№ варианта по табл. 1.5)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	сборочный	сборка неразъёмных соединений	2	4	10	20	5	20	60	1,5	100	2000	25
2	малярный	шпаклёвка, грунтовка	3	10	12	18	4	28	70	0,8	480	0	1
3	металло-покрытий	травление, промывка	5	6	12	18	4	32	80	1	150	0	4
4	электромонтажный	пайка	2	2	20	20	5	20	60	1	100	500	7
5	электромонтажный	пайка	2	2	20	18	4	20	60	0,6	100	350	28
6	сварочный	ручная дуговая сварка покрытыми электродами	10	4	12	18	4	25	75	0,2	320	0	5
7	термический	отжиг и закалка стальных деталей	7	9	15	18	3	32	90	0,6	120	0	9
8	деревообрабатывающий	измельчение древесины	7	8	12	24	4	35	60	0,9	300	0	10

9	малярный	окраска	5	10	6	9	3	15	60	0,5	100	0	11
10	гальваниче- ский	цинкование	7	8	12	15	3,5	14	73	1,3	75	150	25
ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 2													
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
11	сборочный	сборка резьбовых соединений	9	10	20	20	4	29	65	1	120	800	24
12	механиче- ский	сверление, фрезерование	7	3	20	20	4	15	60	0,4	210	0	16
13	механиче- ский	шлифование и полирование	5	5	20	24	4,5	20	60	0,5	200	900	15
14	сварочный	сварка в среде CO <sub>2</sub>	8	5	12	18	3	25	60	0,7	1300	0	16
15	механиче- ский	фрезерование, шлифование	5	3	20	24	4,5	14	75	0,5	200	1700	12
16	механиче- ский	резка, сверление	9	2	20	38	5	32	60	0,5	500	0	22
17	литейный	цветное литье	8	7	18	24	5	30	60	0,5	510	4600	20
18	прессовый	холодная штамповка	12	6	18	30	6	25	75	1	120	0	21
19	сборочный	настройка	3	5	20	20	4	35	60	0,5	900	0	27
20	прессовый	горячая штамповка	11	9	8	12	3	35	60	1	200	0	22
21	литейный	цех ковкого чугуна	12	12	12	15	3	14	90	1	75	0	2
22	гальваниче- ский	хромирование	8	8	15	15	3	12	75	1	60	400	3
23	сварочный	полуавтоматич еская сварка в среде аргона	9	4	9	9	3	20	60	0,4	100	1500	6
24	гальваниче- ский	меднение	5	10	12	18	4	35	60	2	150	0	23
25	литейный	стальное литье	12	11	18	24	5	20	60	0,5	150	2000	25

26	малярный	покрытие лаком	7	9	18	18	4	15	75	1	50	0	17
27	гальванический	никелирование	7	8	20	20	5	14	85	2	50	0	18
28	металлопокрытий	отжиг металлополимерных покрытий	10	6	12	15	3	35	60	1	150	0	14

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
29	отдел информационных технологий	сбор, хранение, обработка информации с применением ПК	1	2	18	20	4,5	20	60	0,5	510	4600	25
30	конструкторское бюро	проектно-конструкторские работы	2	1	12	12	3,5	18	60	1,4	40	1200	8

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ.2

Опасные и вредные факторы в рабочей зоне							Электробезопасность				Метеоусловия	
Вредное вещество				Неионизирующее излучение			Зона размещения электрооборудования	Напряжение сети, В	Заявленная мощность электроустановки, Вт	Характеристика площадки для размещения заземляющего устройства (№ варианта по табл. 1.6)	Температура воздуха на улице, °С	Влажность воздуха на улице, %
Вариант	Наименование	Концентрация в рабочей зоне, мг/м <sup>3</sup>	Аварийный выброс, кг	Частота генератора, МГц	Напряженность эл. магн. поля, В/м (ППЭ, Вт/м <sup>2</sup> )	Расстояние до источника излучения, м						
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	бензин; скипидар	250;600	1	-	-	0,8	II-IIa	220	12000	8	9	90
2	уайт-спирит; ацетон	600; 410	-	-	-	2	B-Ia	220	6000	3	5	90
3	бензол; спирт метиловый	12; 20	1,5; 6,0	-	-	-	B-Ia	380	3000	13	20	30
4	бензин	250	-	-	-	-	B-Ia	220	20000	11	8	95



5	спирт бутиловый	30	-	-	-	2	B-Ia	380	16000	5	15	80
6	марганец	20	-	1000	(0,31)	1,5	B-Iб	380	2700	6	18	60
7	окись углерода	40	-	-	-	-	B-I	380	3500	19	20	40
8	пыль древесная	20	-	-	-	-	П-I	380	1500	7	20	45
9	поливинилхлорид	12	1,0	-	-	-	B-I	12	400	19	1	100
10	цианистый водород	20	0,5	-	-	2	B-I	220	10000	15	2	100
11	керосин	600	-	10000	(0,28)	2	П-I	220	5000	9	15	48
12	чугун СЧ32	120	-	-	-	-	П-II	380	26000	10	3	100
13	бронза БР ОЦС6-6-3	20	-	-	-	-	П-II	380	21000	11	10	95
14	окись углерода	40	-	150	7,5	5	П-II	660	12000	1	15	70
15	асбоцемент	30	-	-	-	-	П-II	127	20000	16	8	100
16	чугун СЧ32	30	-	-	-	-	П-II	380	24000	18	25	45

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ.2

	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
17	алюминий	10	-	20	18	2	П-II	127	9000	9	30	35
18	окись углерода, металлическая пыль	40; 12	-	-	-	-	П-I	380	4500	2	20	46
19	бутан	900	0,8	1000	(0,038)	1,5	П-I	220	25000	3	25	40
20	графитовая пыль, окалина	100	-	-	-	2	B-Ia	220	800	15	25	35
21	угарный газ СО	120	-	-	-	-	B-I	380	5000	19	6	90
22	хромовый ангидрид, кислота уксусная	10;15	0,7	-	-	-	B-I	380	6000	12	5	100
23	титан и его диоксид	30	-	-	-	-	П-I	220	800	8	18	65
24	сероводород	20	0,5	-	-	-	П-I	220	4500	19	20	28
25	оксид серы	20	-	150	5,6	10	П-IIa	220	9000	11	15	80
26	амилацетат	300	1,0	100	4,3	4	B-I	380	1200	19	10	95
27	соединения никеля, пары аммиака, кислот	50	-	-	-	-	B-Ia	220	26000	19	8	90
28	бензол; спирт метиловый	12;20	1,5; 6,0	-	-	-	П-I	380	1500	15	20	28
29	спирт метиловый	20	-	5000	(0,61)	2,5	П-I	220	1000	4	10	90
30	-	-	-	10000	(0,28)	2	B-I	220	2500	19	6	90

ТАБЛИЦА 1.3

**ФИЗИЧЕСКАЯ ТЯЖЕСТЬ РАБОТ**

№ варианта	Характер работ
1	Работа производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением
2	Работа производится сидя и сопровождается некоторым физическим напряжением
3	Работа производится стоя, связана с ходьбой и сопровождается некоторым физическим напряжением
4	Работа связана с постоянной ходьбой
5	Работа выполняется стоя и связана с перемещением мелких (до 1 кг) изделий
6	Работа выполняется сидя и требует определенного физического напряжения
7	Работа связана с ходьбой и перемещением тяжестей до 10 кг
8	Работа связана с ходьбой и сопровождается умеренным физическим напряжением
9	Работа связана с переноской тяжестей до 10 кг
10	Работа связана с постоянным передвижением
11	Работа связана с перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей
12	Работа требует больших физических усилий

**Категории тяжести физических работ (приложение есть)**

(ГОСТ 12.1.005-88)

Характер работы	Категория	Энергозатраты, Вт
Работы, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением	Легкие - Ia	до 139
Работы, производимые стоя, сидя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением	Легкие - Ib	140-174
Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения	Средней тяжести - IIa	175-232

Характер работы	Категория	Энергозатраты, Вт
Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением	Средней тяжести - IIб	233-290
Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий	Тяжелые - III	более 290

ТАБЛИЦА 1.4

## ХАРАКТЕР ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

№ варианта	Характеристика зрительной работы	Размер объекта различения, мм	Контраст	Фон
1	Высокой точности	менее 0,15	малый	темный
2	Средней точности	от 0,15 до 0,3	средний	темный
3	Малой точности	более 1 до 5	средний	средний
4	Средней точности	более 1 до 5	большой	светлый
5	Малой точности	более 1 до 5	малый	темный
6	Грубая (очень малой точности)	более 5	средний	темный
7	Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	более 5	средний	средний
8	Наблюдение	более 5	большой	светлый
9	Грубая (очень малой точности)	более 5	малый	темный
10	Средней точности	более 5	средний	темный
11	Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	более 5	средний	светлый
12	Грубая (очень малой точности)	более 5	большой	средний

ТАБЛИЦА 1.5

## ФАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Вариант	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									Уровень звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровень звукового давления, дБ									
1	100	87	93	88	85	89	84	85	84	93
2	100	82	89	82	89	81	80	75	74	89

Вариант	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									Уровень звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровень звукового давления, дБ									
3	99	84	80	82	86	82	82	76	71	88
4	97	88	81	82	86	82	80	84	78	89
5	98	86	84	81	85	84	79	69	63	87
6	85	88	85	84	90	88	82	74	70	92
7	80	80	83	86	86	85	79	72	65	88
8	80	78	84	85	90	94	88	86	81	96
9	81	89	86	84	98	87	81	72	62	96
10	82	87	85	87	90	90	93	89	78	97
11	101	120	117	104	102	97	90	86	84	105
12	107	105	104	96	93	76	64	54	50	94
13	107	122	124	115	110	99	98	94	92	112
14	92	90	98	106	110	112	111	110	106	117
15	99	100	99	98	100	102	101	95	98	107
16	90	88	91	93	96	90	93	86	77	98
17	91	98	99	102	107	110	111	104	96	115
18	85	88	91	93	96	90	93	86	77	98
19	80	81	86	84	86	85	81	80	75	89
20	85	96	101	101	91	78	76	74	73	94
21	90	99	115	117	123	123	121	117	107	127
22	95	100	103	102	97	90	88	85	79	99
23	94	100	99	98	100	102	101	95	88	106
24	75	70	59	52	45	45	41	40	38	50
25	102	90	83	76	72	70	68	64	64	75
26	94	82	71	68	60	60	55	55	54	65
27	67	66	56	49	44	39	37	34	33	45
28	92	90	87	82	76	75	71	71	70	80

ТАБЛИЦА 1.6

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОЩАДКИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Вариант	Тип грунта	Размеры участка, м	Напряжение сети, В	Режим нейтрали
1	0,5 м - суглинок, остальное - супесь	60х60	660/380, трехфазная	Заземленная
2	0,5 м - суглинок, остальное - супесь	20х20	380/220, трехфазная	Заземленная

Вариант	Тип грунта	Размеры участка, м	Напряжение сети, В	Режим нейтрали
3	0,5 м - суглинок, остальное - супесь	15x15	220/127, трехфазная	Заземленная
4	Супесь	20x20	380/220, трехфазная	Заземленная
5	Глина	5x5	380,220, трехфазная	Заземленная
6	0,5 м - суглинок, остальное - супесь	10x10	660/380, трехфазная	Заземленная
7	Супесь	20x20	380/220, трехфазная	Заземленная
8	Суглинок	10x10	220, однофазная	Заземленная
9	0,5 м - торф, остальное - суглинок	5x5	127, однофазная	Заземленная
10	Суглинок	5x5	380/220, трехфазная	Заземленная
11	Супесь	16x16	220/127, трехфазная	Заземленная
12	Суглинок	6x6	380/220, трехфазная	Изолированная
13	Суглинок	3x3	380/220, трехфазная	Изолированная
14	Садовая земля	3x3	±500, двухфазная	Изолированная
15	Супесь	20x20	110, однофазная	Изолированная
16	0,5 м - садовая земля, остальное - глина	20x15	127, однофазная	Заземленная
17	0,5 м - суглинок, остальное - супесь	40x40	660/380, трехфазная	Заземленная
18	Суглинок	50x50	380/220, трехфазная	Заземленная

## 2. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

При выборе системы освещения основным документом являются **новые отраслевые нормы искусственного** освещения машиностроительных предприятий и типовые проекты. Согласно этим нормам в основных цехах

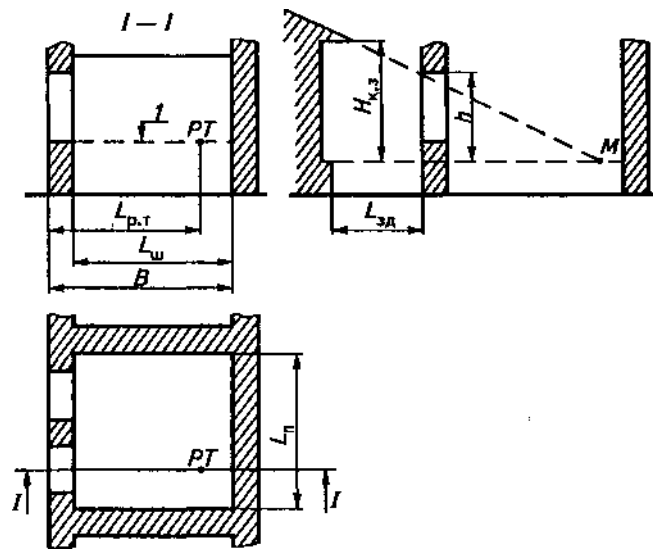
следует применять преимущественно систему общего освещения с равномерным и локализованным размещением светильников относительно оборудования и систему комбинированного освещения. Применение одного местного освещения не допускается.

## 2.1. РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Непосредственно перед расчетом освещения необходимо назначить тип естественного освещения (боковое одностороннее, боковое двустороннее, верхнее, комбинированное). Обычно при ширине помещения до 12 м рекомендуется боковое одностороннее, при ширине 12...24 м – боковое двустороннее, более 24 м – комбинированное освещение.

### 2.1.1. РАСЧЕТ БОКОВОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Предварительно вычерчивают горизонтальный и вертикальный разрезы проектируемого помещения (рис. 2.1). Затем в зависимости от наименьшего размера объекта различения определяют нормированное значение коэффициента естественной освещенности (КЕО), пользуясь *таблицей 1* приложения. Например, Ульяновская область находится в III световом поясе, поэтому для нее принимают табличное значение  $КЕО = e_H^{III}$ .



**Рис. 2.1. Схема обозначения размеров здания для расчета бокового освещения:**

$L_{ш}$  – ширина помещения;  $L_{p.т}$  – расстояние от противоположной световым проемам стены до расчетной точки (РТ), принимаемое равным 1м;  $B$  – глубина помещения;  $H_{к.з}$  – высота расположения карниза противостоящего здания над подоконником;  $L_{зд}$  – расстояние до противостоящего здания;  $h$  – высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна;  $M$  – граница затенения;

$L_n$  – длина помещения

Нормированные значения КЕО для зданий, располагаемых в I, II, IV и V поясах светового климата, следует определять по формуле

$$e_n^{I,II,IV,V} = e_n^{III} m_N,$$

где  $e_n^{III}$  – значение КЕО для III пояса (см. табл. 1 приложения);  $m$  – коэффициент светового климата (табл. 2.1);  $N$  – номер группы административного района (табл. 2.2).

Далее определяют отношение длины помещения к его глубине:  $L_n/B$  и отношение глубины помещения к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна:  $B/h$ . По отношениям  $L_n/B$  и  $B/h$  из таблицы 2 приложения выбирают значение световой характеристики окна  $\eta_0$ .

**Таблица 2.1.**

**Коэффициенты светового климата**

Расположение световых проемов	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С; СВ; СЗ;	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З; В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ; ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С – Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ–ЮЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	ЮВ–СЗ; В–З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа «Шед»	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	—	1	0,9	1,2	1,2	0,75

Условные обозначения: С – северное расположение; СВ – северо-восточное; СЗ – северо-западное; В – восточное; З – западное; С-Ю – север-юг; В-З – восток-запад; Ю – южное; ЮВ – юго-восточное; ЮЗ – юго-западное.

**Таблица 2.2.**

**Группы административных районов по ресурсам светового климата**

Номер группы	Административные районы
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская области. Республики:

	Мордовия, Чувашская, Удмуртская, Башкортостан, Татарстан, Саха (Якутия, севернее 63° с. ш.), Красноярский край (севернее 63° с. ш.), Чукотский национальный округ, Хабаровский край (севернее 55° с. ш.)
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская, Магаданская, Читинская области. Республики: Коми, Кабардино-Балкарская, Северная Осетия (Алания), Чеченская, Ингушетия, Бурятия, Саха (Якутия (южнее 63° с. ш.), Ханты-Мансийский национальный округ, Алтайский и Красноярский края (южнее 63° с. ш.), Республика Тува, Хабаровский край (южнее 55° с. ш.)
3	Калининградская. Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Республика Карелия, Ямало-Ненецкий национальный округ
4	Архангельская. Мурманская области
5	Республика Калмыкия: Ростовская, Астраханская, Амурская области; Ставропольский край, Республика Дагестан, Приморский край

Вычисляют отношение расстояния  $L_{зд}$  между соседними зданиями к высоте  $H_{к.з}$  расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна:  $L_{зд} / H_{к.з}$ . С учетом значения этого отношения по *таблице 3* приложения находят значение коэффициента  $K_{зд}$ , учитывающего затенение окон соседним зданием.

Рассчитывают общий коэффициент светопропускания:

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4,$$

где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания материала (*табл. 4* приложения);  $\tau_2$  – коэффициент, учитывающий потери света в оконных переплетах световых проемов (*табл. 4* приложения);  $\tau_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (*табл. 4* приложения);  $\tau_4$  – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (*табл. 5* приложения).

По *таблице 6* приложения выбирают значение коэффициента запаса: для сборочного, механического и инструментального цехов  $K_3=1,3$ ; для гальванического –  $K_3 = 1,5$ ; для лаборатории –  $K_3 = 1,2$ .

Площади пола, потолка и стен,  $m^2$ , вычисляют по формулам:

$$S_{п} = L_{п}L_{ш};$$

$$S_{пт} = L_{пт}L_{ш};$$

$$S_{ст} = 2L_{п}H + 2L_{ш}H,$$

где  $L_{ш}$  – ширина пола;  $L_{пт}$  – ширина потолка;  $H$  – высота стен.



По *таблицам 7, 8 и 9* приложения находят значения коэффициентов отражения света от стен  $\rho_{ст}$ , потолка  $\rho_{пт}$  и пола  $\rho_{п}$  с учетом принятой цветовой отделки помещения.

Далее рассчитывают средневзвешенный коэффициент отражения стен, потолка и пола

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_{см} S_{см} + \rho_{пм} S_{пм} + \rho_{п} S_{п}}{S_{см} + S_{пм} + S_{п}}.$$

Определяют отношение расстояния расчетной точки  $L_{р.т}$  от наружной поверхности стены к глубине помещения:  $L_{р.т}/B$ .

Учитывая соотношение размеров помещения и средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола  $\rho_{ср}$ , из *таблицы 10* приложения выбирают значение коэффициента  $\rho_1$  учитывающего увеличение КЕО при боковом освещении благодаря отраженному свету.

Площадь,  $m^2$ , световых проемов без учета оконных переплетов, вычисляют по формуле:

$$S_o = \frac{e_n S_n K_{зо} \eta_o}{100 \tau_o r_1}.$$

Необходимое число окон  $n_{ок}$  следует определять с учетом площади одного окна  $S_{ок}$ , которая согласно стандарту может быть принята равной 3,6; 7,2; 10,8  $m^2$ :

$$n_{ок} = S_o / S_{ок}.$$

В производственных помещениях можно также применять окна с размерами, указанными в *таблице 2.3*.

**Таблица 2.3.**

**Допустимые размеры окон**

<i>Высота, мм</i>	<i>Ширина, мм</i>
2100	1555; 1260; 1060; 860; 565
1800	
1575	1555; 1260; 1060; 860; 665; 565
1425	
1275	

### 2.1.2. РАСЧЕТ ВЕРХНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

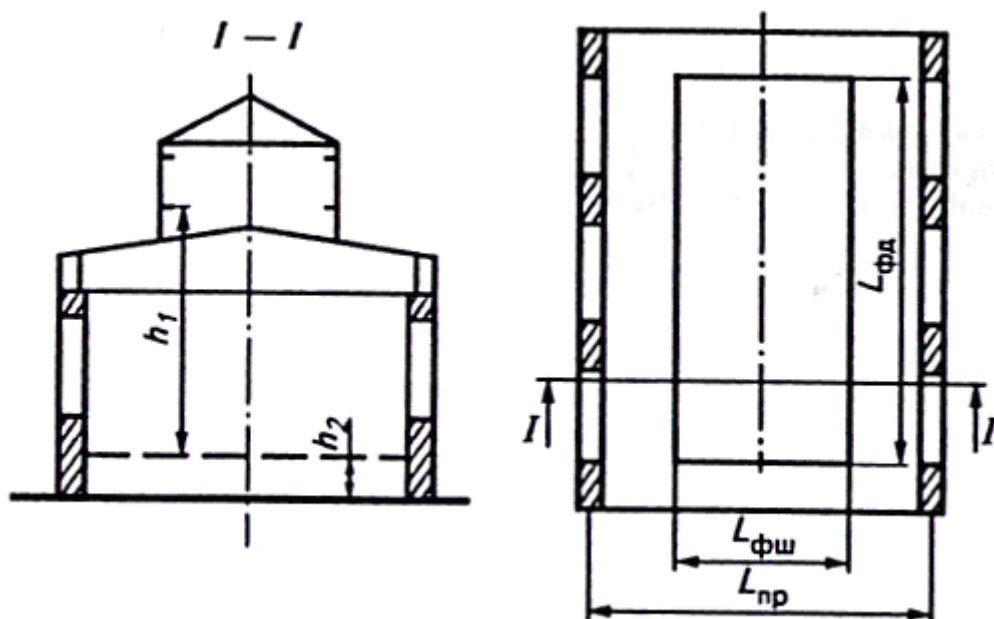
Расчет верхнего освещения аналогичен расчету бокового освещения, но имеет некоторые особенности. Сначала необходимо вычертить характерные горизонтальный и вертикальный разрезы и обозначить размеры здания (рис. 2.2). Затем следует определить нормированное значение КЕО как и для бокового освещения (см. п. 2.1.1).

Далее вычисляют отношение длины помещения  $L_{\text{п}}$  к ширине  $L_{\text{пр}}$  пролета:  $L_{\text{п}}/L_{\text{пр}}$ , отношение высоты  $H$  помещения к ширине  $L_{\text{пр}}$  пролета:  $H/L_{\text{пр}}$  и отношение высоты  $h_1$  от условной рабочей поверхности до нижнего края остекления фонаря к ширине  $L_{\text{пр}}$  пролета:  $h/L_{\text{пр}}$ . Определяют площади пола, потолка, стен и их коэффициенты отражения.

Рассчитывают значение общего коэффициента светопропускания:

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5,$$

где  $\tau_5$  – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями: обычно принимают  $\tau_5 = 0,9$ .



**Рис. 2.2. Схема обозначения размеров здания для расчёта верхнего освещения:**

$L_{\text{фш}}$  – ширина фонаря,  $L_{\text{фд}}$  – длина фонаря,  $L_{\text{пр}}$  – ширина пролёта,  $h_1$  – высота уровня условной рабочей поверхности до нижней грани остекления фонаря;  $h_2$  – высота от уровня пола до условной рабочей поверхности (0,8 м)

Защитную горизонтальную металлическую сетку шириной 0,7 м при

вертикальном расположении фонарей с использованием оконного стекла устанавливают в зданиях, оборудованных мостовыми электрическими кранами с весьма тяжелым режимом работы, а также кранами с жестким подвесом траверсы. При наклонном и горизонтальном остеклении ширина металлической сетки должна быть равна горизонтальной проекции переплета. В случае заполнения переплетов армированным стеклом сетки предусматривать не рекомендуется.

Далее рассчитывают площадь остекления фонаря, м<sup>2</sup>:

$$S_{\phi} = \frac{e_n S_n K_z \eta_{\phi}}{100 \tau_o r_2 K_{\phi}},$$

где  $e_n$  — нормированное значение КЕО (см. п. 2.1.1);  $S_n$  — площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;  $K_z$  — коэффициент запаса (см. табл. 6 приложения);  $\eta_{\phi}$  — световая характеристика фонаря с учетом его типа, числа пролетов, отношения длины помещения  $L_n$  к ширине пролета  $L_{пр}$  и отношения высоты помещения  $H$  к ширине пролета  $L_{пр}$  (см. табл. 11 приложения);  $r_2$  — коэффициент, учитывающий увеличение КЕО при верхнем освещении за счет света, отраженного от поверхностей (см. табл. 12 приложения);  $K_{\phi}$  — коэффициент, учитывающий тип фонаря (табл. 2.4).

**Таблица 2.4.**

**Значения коэффициента  $K_{\phi}$  в зависимости от типа фонаря**

Тип фонаря	Значение $K_{\phi}$
Световые проемы в плоскости покрытия:	
Ленточные	1
Штучные	1,1
Фонари:	
с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1,15
с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,2
с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,3
с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,4

Высоту, м, остекления фонаря рассчитывают по формуле:

$$h_{\phi} = S_{\phi} / L_{\phi д},$$

где  $L_{\phi д}$  — длина фонаря.

## 2.2. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Большинство производственных помещений оборудуют системами искусственного освещения — когда светильники расположены в верхней (потолочной) зоне. Если расстояние между светильниками одинаковое, то освещение считают равномерным, при размещении светильников ближе к оборудованию — локализованным.

Искусственное освещение классифицируют по двум признакам: по расположению источников света – общее, местное, комбинированное; по назначению – рабочее, аварийное, дежурное, охранное, эвакуационное.

Местным считают освещение, при котором световой поток светильников концентрируется непосредственно на рабочих местах.

Согласно Строительным нормам и правилам (СНиП) применение только одного местного освещения в производственных помещениях не допускается.

Комбинированным называют такое искусственное освещение, когда к общему добавляется местное.

Рабочее освещение устраивают во всех помещениях и на территориях для обеспечения нормальной работы и прохода людей, движения транспорта при отсутствии или недостатке естественного освещения.

Аварийное освещение необходимо для продолжения работ при внезапном отключении рабочего освещения, что может вызвать нарушение процесса обслуживания оборудования или непрерывного технологического процесса, пожар, взрыв, отравление людей, травматизм в местах большого скопления людей т. п. Наименьшая освещенность рабочих поверхностей, требующих обслуживания в аварийном режиме, должна быть не менее 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и 1 лк на открытых площадках.

Дежурным считают освещение производственных объектов в нерабочее время.

Искусственное освещение, создаваемое вдоль границ охраняемых территорий, в ночное время называют охранным.

Эвакуационное освещение устраивают в местах, опасных для прохода людей, а также в основных проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей из производственных зданий при численности работающих более 50 чел., в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при внезапном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма вследствие продолжения работы производственного оборудования, а также в производ-

ственных помещениях с численностью работающих более 50 независимо от степени опасности травматизма. Эвакуационное освещение должно обеспечивать минимальную освещенность основных проходов и на ступенях лестниц: в помещениях 0,5 лк, на открытых территориях 0,2 лк.

### 2.2.1. СВЕТИЛЬНИКИ С ЛАМПАМИ НАКАЛИВАНИЯ

На основе соответствующих санитарных норм, строительных норм и правил, требований пожарной безопасности, правил устройства электроустановок (ПУЭ) необходимо охарактеризовать технологический процесс в помещении, освещенность которого требуется рассчитать. При этом надо определить категорию помещения, его класс пожаро- и взрывоопасности, а также класс по степени опасности поражения электрическим током (*приложения 64...67*) с учетом условий внутренней среды (нормальные, жаркие пыльные, с химической активной средой).

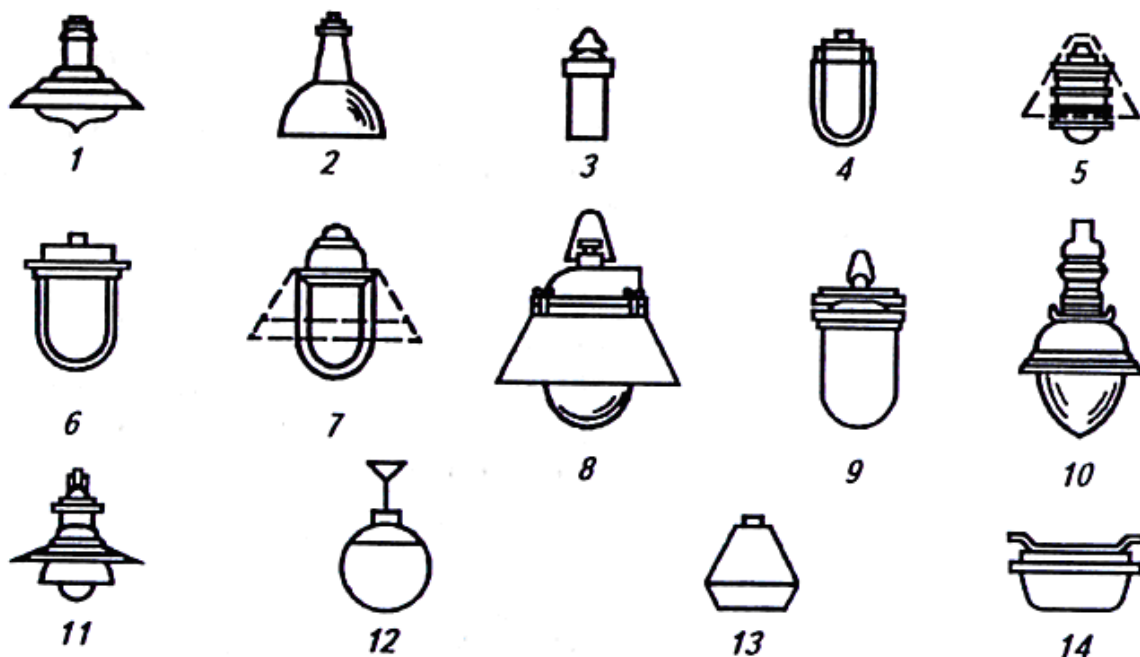
По условиям внутренней среды и характеристике зрительной работы выбирают тип светильника (см. *табл. 13* приложения, *рис. 2.3*), марку провода и способ прокладки (см. *табл. 15, 16* приложения)

По наименьшим размерам объектов, контрасту объекта различения и фона, характеристике фона назначают систему освещения (общую, комбинированную) и принимают *по таблице 1* приложения минимальную освещенность  $E_n$ . При этом необходимо учитывать, что в случае использования ламп накаливания нормированную освещенность следует снижать по шкале освещенности на следующее число ступеней:

одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;

одну ступень при системе общего освещения для работ категории I ...V, VII, при этом освещенность от ламп накаливания не должна превышать 300 лк;

две ступени при системе общего освещения для работ категории VI и VIII.



**Рис. 2.3. Светильники с лампами накаливания:**

1 – «Универсаль» (У, Ум, Уз); 2 – «Глубокоизлучатель» эмалированный (Гэ) или зеркальный (Гз); 3 – фарфоровый полутермический (Фм); 4 – пылеводонепроницаемый (ПВ); 5 – взрывобезопасный (ВЗБ, ВЗГ); 6 – рудничный нормальный (РН); 7 – повышенной надёжности против взрыва (НОБ, НОГ); 8 – промышленный уплотнённый с отражателем (ПУ); 9 – промышленный уплотнённый без отражателя (ПУ); 10 – с закрытым снизу колпаком (СПЗ-500); 11 – с открытым снизу колпаком (СПЗ-300); 12 – «Молочный шар»; 13 – «Люцетты»; 14 – потолочный сельскохозяйственный (ПСХ)

Нормированные значения освещенности, различающиеся на одну ступень, следует принимать по шкале, лк: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

Нормы освещенности, приведенные в таблице 1 приложения, необходимо повысить на одну ступень шкалы в следующих случаях:

работы категорий I...IV, когда напряженная зрительная работа выполняется в течение всего рабочего дня (визуальный контроль изделий и т. п.);

повышенная опасность травматизма при освещенности 150 лк и менее от системы общего освещения (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т. п.);

специальные повышенные санитарные требования;

работа или производственное обучение подростков при освещенности 300 лк и менее от системы общего освещения;

отсутствие в помещении естественного света, если освещенность от системы общего освещения составляет 1000 лк и менее.

Нормы освещенности некоторых производственных помещений лампами накаливания можно выбрать из *таблицы 2.5*.

**Таблица 2.5.**

**Нормы освещенности рабочих мест ремонтных предприятий**

<i>Производственные участки и помещения</i>	<i>Нормы освещенности, лк</i>	
	<i>Комбинированное освещение</i>	<i>Общее освещение</i>
Механический, ремонта и испытания гидрооборудования, моторный, дефектации	750	300
Сварочный, кузнечный, медницких работ, ремонта аккумуляторов	500	200
Диагностический, разборки и сборки машин, сборки и обкатки агрегатов, слесарный, столярный, шиноремонтный	300	200
Окраски машин	—	300
Наружной мойки машин, обслуживания аккумуляторов, осмотровая яма	—	150
Компрессорный. Склад	—	75
Гараж	—	20

Далее по *таблице 6* приложения принимают значение коэффициента запаса  $K_z$ , характеризующего запыленность и задымленность помещения, а по *таблице 2.6* – высоту подвеса светильников  $h_{св}$ , т. е. расстояние по вертикали между светильником и освещаемой поверхностью.

**Таблица 2.6.**

**Минимальная высота подвеса светильников с лампами накаливания (при расположении освещаемой поверхности от пола на высоте не менее 0,8 м)**

<i>Характеристика светильников</i>	<i>Минимальная высота подвеса, м</i>	
	<i>ламп мощностью <math>\leq 200 \text{ Вт}</math></i>	<i>ламп мощностью <math>&gt; 200 \text{ Вт}</math></i>
Светильники с диффузными	2	3

отражателями, у которых защитный угол $\alpha$ 10...30°, без рассеивателей		
То же, с защитным углом более 30°	Не ограничена	2
Светильники с рассеивателями и с диффузными отражателями или без них: с коэффициентом пропускания до 80% в зоне распределения светового потока 0...90° с коэффициентом пропускания до 55% в зоне 0...60°	2  1,5	3  2
Светильники с зеркальными отражателями: глубокого излучения широкого излучения	1,5 3	2 5
Открытые лампы с колбой из матового стекла	2,5	4,5

В зависимости от выбранного типа светильника *по таблице 17* приложения находят наивыгоднейшее отношение расстояния между светильниками  $L_{\text{св}}$  к высоте их подвеса  $h_{\text{св}}$ , а затем вычисляют расстояние между светильниками, м:

$$L_{\text{св}} = \gamma h_{\text{св}},$$

где  $\gamma$  — наивыгоднейшее отношение  $L_{\text{св}}/h_{\text{св}}$ .

Определяют расстояние  $L_1$  от стены до первого ряда светильников. При наличии рабочих мест у стен  $L_1 = (0,25...0,3) L_{\text{св}}$ , при отсутствии таких рабочих мест  $L_1 = (0,4...0,5)L_{\text{св}}$ .

Расстояние между крайними рядами светильников по ширине помещения, м,

$$L_2 = b - 2L_1,$$

где  $b$  — ширина помещения, м.

Число рядов светильников, которые можно расположить между крайними рядами по ширине помещения,

$$n_{\text{св.ш}} = \frac{L_2}{L_{\text{св}}} - 1.$$

Общее число рядов светильников по ширине

$$n_{\text{св.ш.о}} = n_{\text{св.ш}} + 2.$$



Расстояние между крайними рядами светильников по длине помещения, м,

$$L_3 = a - 2L_1,$$

где  $a$  – длина помещения, м.

Общее число рядов светильников по длине

$$n_{\text{св,д,о}} = n_{\text{св,д}} + 2,$$

где  $n_{\text{св,д}} = (L_3/L_{\text{св}}) - 1$  – число рядов светильников, которые можно расположить между крайними рядами по длине помещения.

Общее число устанавливаемых в помещении светильников

$$n_{\text{св}} = n_{\text{св,ш,о}} n_{\text{св,д,о}}.$$

Далее необходимо рассчитать показатель формы помещения:

$$\varphi = \frac{ab}{h_{\text{св}}(a+b)}.$$

Исходя из типа светильника и коэффициентов отражения стен, потолка (см. табл. 8 приложения), из таблицы 18 приложения выбирают значение коэффициента использования светового потока  $\eta_u$ , а из таблицы 19 – значение коэффициента неравномерности освещенности  $Z$ .

Световой поток одной лампы, лм, рассчитывают по формуле:

$$F_{\text{л}} = \frac{E_n K_3 Z S_n}{n_{\text{св}} \eta_n},$$

где  $S_n$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>.

В зависимости от расчетного светового потока одной лампы накаливания и напряжения в сети по таблице 20 приложения находят требуемую мощность одной лампы  $P_{\text{л}}$ .

Тогда действительная освещенность помещения, лк:

$$E_{\text{д}} = \frac{F_{\text{л}} n_{\text{св}} \eta_u}{K_3 Z S_n},$$

где  $F_{\text{л}}$  – световой поток лампы, лм, по таблице 20 приложения.

Допустимое отклонение действительной освещенности от нормативной должно быть —10...+20 %. В противном случае выбирают другую схему расположения светильников.

Суммарная потребляемая мощность системы общего освещения, Вт,

$$P = P_{\text{л}} n_{\text{св}}.$$

При назначении комбинированного освещения следует выполнить

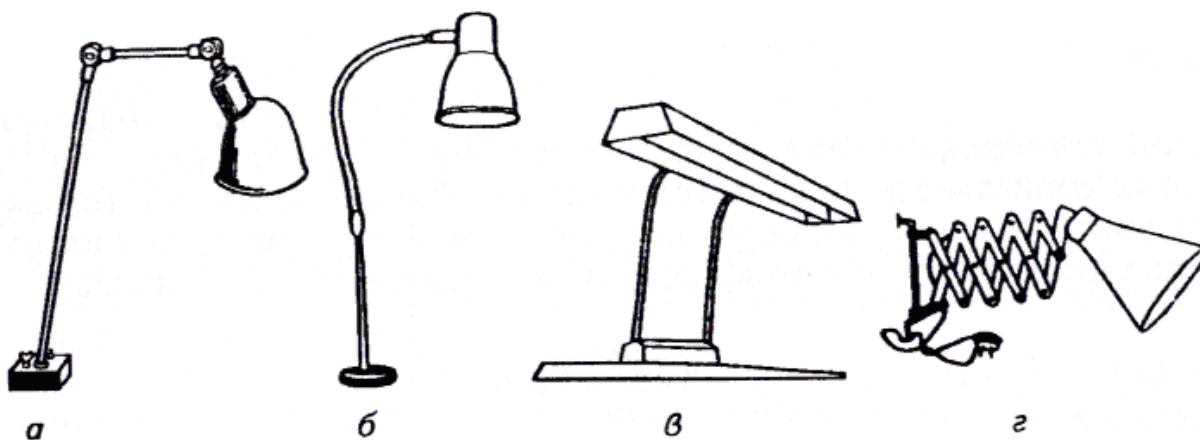
указанные далее требования.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10% нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяют для местного освещения. Наибольшая освещенность от светильников общего освещения в системе комбинированного должна быть 100 лк, наименьшая – 50 лк для ламп накаливания и соответственно 500 лк и 150 лк для газоразрядных, ламп. Рекомендуемая мощность ламп светильников местного освещения (рис. 2.4) в зависимости от требуемой освещенности дана в таблице 21 приложения. Высота установки такого светильника над освещаемой поверхностью должна быть 0,3...0,4 м. Освещенность, создаваемая светильниками местного освещения с учетом их типов, указана в таблице 2.7.

**Таблица 2.7.**

**Освещенность, создаваемая светильниками местного освещения**

Тип светильника	Напряжение в лампе, В	Мощность лампы, Вт	Высота подвеса, м	Диаметр освещаемой поверхности, м	Освещенность, лк
КГ	36	25	0,5	0,3	100
РБ-1	36	50	0,5	0,5	120
СМО-1	36	100	0,4	0,5	200
МЛ 2×20	220	20	0,5	0,4	300
МЛ 2×80	220	80	1	0,4	1500



**Рис. 2.4. Светильники местного освещения:**

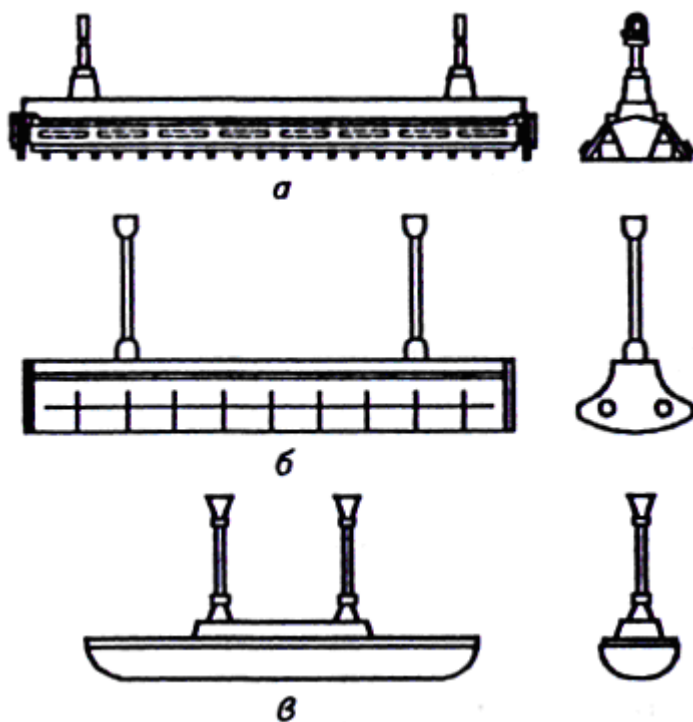
*а – типа СМО; б – типа КГ на гибком кронштейне; в – типа МЛ с*

люминесцентными лампами;  $г$  – типа РБ (настенный раздвижной)

### 2.2.2. СВЕТИЛЬНИКИ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ

Порядок расчета освещения светильниками с люминесцентными лампами аналогичен расчету для светильников с лампами накаливания, но имеет некоторые особенности. Так, тип светильника выбирают, руководствуясь *таблицей 14* приложения и схемами на *рисунке 2.5*.

Высоту подвеса светильников  $h_{св}$  (при расположении освещаемой поверхности не менее 0,8 м от пола) принимают *по таблице 2.8*.



**Рис. 2.5. Светильники с люминесцентными лампами:**

*а* – подвесной открытый дневного света с защитным углом  $\alpha=15^\circ$  в поперечной плоскости (типа ОД – прямого света со сплошными отражателями, ОДО – рассеянного света с отражателем, имеющим отверстия в верхней части, ОДОР – то же, с экранирующей решёткой); *б* – подвесной открытый прямого света с защитным углом  $\alpha=30^\circ$  в продольной и поперечной плоскостях (типов ШЛД, ШОД); *в* – пылевлагозащищённый рассеянного света (тип ПВЛ)

Затем *по таблице 8* приложения находят коэффициенты отражения, а *по таблице 22* – удельную мощность  $P_y$ , Вт/м<sup>2</sup>, необходимую для расчета

общего равномерного освещения в зависимости от площади освещаемого помещения  $S_n$ , требуемой освещенности  $E$ , типа светильников, высоты их подвеса  $A_{св}$ , типа применяемых ламп и коэффициентов отражения стен  $p_{ст}$  и потолков  $p_{пт}$ . Определяют общую мощность на освещение, Вт:  $P_o = P_y S_n$ ,

расчетную мощность одной лампы, Вт:  $P_{л.р} = \frac{P_o}{n_{св} n_{л.св}}$ ,

где  $n_{св}$  – общее число светильников;  $n_{л.св}$  – число ламп в светильнике.

Таблица 2.8.

**Минимальная высота подвеса светильников с люминесцентными лампами**

Характеристика светильников	Защитный угол светильников $\alpha$ , град	Минимальная высота подвеса, м, при числе ламп в светильнике	
		$\leq 4$	$> 4$
Светильники прямого света с диффузными отражателями	15...25	3	3,5
	25,1...40	2	2,5
	Более 40	Не ограничена	
Светильники рассеянного света с коэффициентом пропускания рассеивателей:			
	менее 55 %	1,6	2,2
	55...80 %	2,5	3

По таблице 20 приложения по расчетной мощности одной лампы уточняют паспортную мощность  $P_l$  люминесцентных ламп, Вт, и световой поток  $F_l$ , лм.

Действительную мощность осветительной установки, Вт, рассчитывают по формуле:  $P_{о.уд} = P_l n_{св} n_{л.св}$ .

Действительная удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>:  $P_{уд} = P_{о.уд} / S_n$

Действительная освещенность, лк:  $E_d = E_n \frac{P_l}{P_{л.р}}$ ,

где  $E_n$  – нормативная освещенность, лк, по таблице 1 приложения.

### 2.2.3. ТОЧЕЧНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Точечный метод расчета позволяет определить световой поток ламп,

необходимый для создания заданной освещенности в любой точке произвольно расположенной плоскости при любом расположении светильников, если отраженный от стен и потолка световой поток не имеет большого значения. Этот метод используют при расчете:

общего локализованного освещения, которое наиболее целесообразно в цехах с крупногабаритным оборудованием – сборочных, прессовых, мартеновских, прокатных и т. п.;

местного освещения;

освещенности негоризонтальных поверхностей;

наружного освещения.

Сущность метода состоит в том, что требуемый световой поток осветительной установки определяют исходя из условий, что в любой точке освещаемой поверхности освещенность должна быть не меньше нормированной. На плане помещения с указанным расположением светильников намечают контрольные точки, освещенность в которых может оказаться наименьшей. В каждой из этих точек вычисляют освещенность.

Ввиду того, что световой поток светильников еще не известен, вычисляют не истинную освещенность, а условную, т. е. освещенность, которая была бы создана в этих точках, если бы в светильниках выбранного типа находились лампы с условным световым потоком 1000 лм. Ту из точек, освещенность в которой окажется наименьшей, принимают в качестве расчетной. Задача дальнейшего расчета – определение светового потока светильников, при котором освещенность в расчетной точке будет не ниже нормированной. Для расчета необходимы следующие данные:

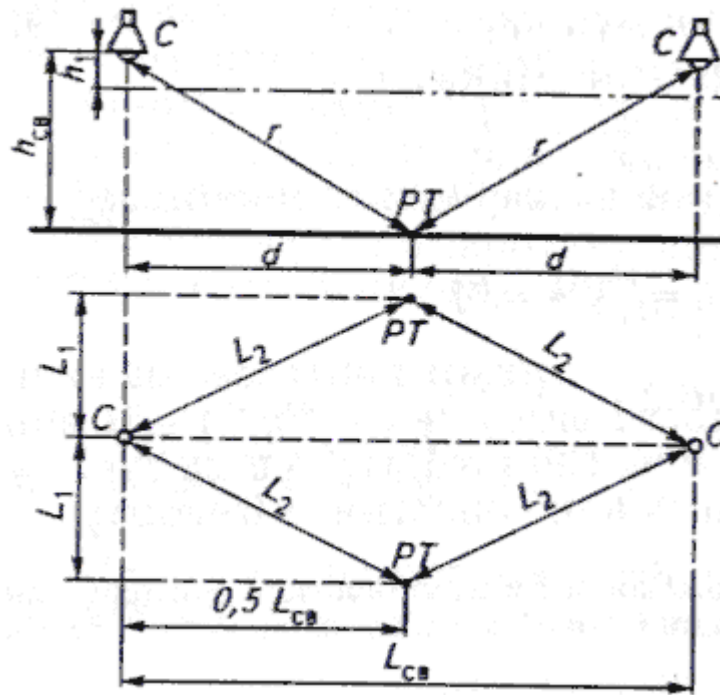
наименование и назначение освещаемого помещения (площадки);

схема освещаемого помещения (площадки) с указанием расположения светильников, расчетных точек и расстояний (*рис. 2.6*);

тип светильников;

напряжение в сети  $U_c$ , В;

высота подвески светильников  $h_{св}$ , м.



**Рис. 2.6. Схема к расчёту искусственной освещенности точечным методом:**

$h_{cv}$  – высота подвеса светильника  $C$ ;  $h_1$  – высота расположения светильника над условной горизонтальной поверхностью;  $r$  – расстояние от светильника до расчётной точки  $PT$ ;  $d$  – расстояние по горизонтали от проекции оси светильника до расчётной точки;  $L_1$  – расстояние от проекции оси светильника до расчётной оси освещаемого объекта;  $L_2$  – расстояние от проекции оси светильника до расчётной точки;  $L_{cv}$  – расстояние между светильниками

**Расчет наружного освещения** целесообразно выполнять в такой последовательности.

В зависимости от вида выполняемых работ определить нормативную освещенность  $E_n$ , (см. табл. 1 приложения). При выборе значения нормативной освещенности для открытых площадок можно руководствоваться следующими данными:

при аварийном освещении поверхностей  $E_n$  должна быть не менее 5 % освещенности, создаваемой системой рабочего освещения;

при проведении строительно-монтажных работ по всей территории  $E_n = 2$  лк;

при охранном освещении площадок предприятий  $E_n = 0,5$  лк на уровне земли или на плоскости ограждений;

при эвакуационном освещении внутри зданий  $E_n = 0,5$  лк, а на открытых территориях  $E_n = 0,2$  лк;

при трамбовке силосной массы в темное время суток в любой точке рабочей зоны траншеи  $E_n = 50$  лк.

Из *таблицы 6* приложения выбрать коэффициент запаса  $K_3$ , учитывающий выделение пыли и снижение светового потока ламп в процессе их эксплуатации.

Определить коэффициент добавочной освещенности  $\mu$ , учитывающий действие удаленных светильников и отраженного света. При отсутствии удаленных источников света и внутренней отделке помещений темных цветов  $\mu = 1$ ; при эмалированных светильниках прямого света  $\mu = 1,1 \dots 1,2$ ; в других случаях  $\mu = 1,05 \dots 1,1$ . При использовании светильников преимущественно прямого света, коэффициентах отражения потолка  $\rho_{пт} > 0,5$  и стен  $\rho_{ст} > 0,5$  возможно  $\mu = 1,3 \dots 1,6$ .

Рассчитать суммарную относительную освещенность в наиболее удаленной от светильников точке (в расчетной точке), лк:

$$\sum E_o = \frac{1000 E_n h_{св}^2 K_3}{F_{л} \mu},$$

где  $F_{л}$  – световой поток, лм, лампы, принятый по *таблице 20* приложения.

Вычислить относительную освещенность от одного светильника, лк:

$$E_o = \sum E_o / n_{св.у}$$

где  $n_{св.у}$  — число светильников, учитываемых при определении суммарной относительной освещенности.

По относительной освещенности от одного светильника  $E_o$  определить отношение  $\gamma_1 = L_2/h_{св}$  для выбранного типа светильника (*табл. 23* приложения). Исходя из значения  $\gamma_1$  рассчитать расстояние от проекции оси светильника до расчетной точки, м (см. *рис. 2.6*):

$$L_2 = \gamma_1 h_{св}$$

Определить расстояние между светильниками, м:

$$L_{св} = 2 \sqrt{L_2^2 - L_1^2},$$

где  $L_1$  – расстояние от проекции оси светильника до расчетной оси освещаемого объекта.

Если необходимо рассчитать освещение наклонной плоскости, то через расчетную точку  $PT$  (рис. 2.7), лежащую на этой плоскости, следует провести вспомогательную горизонтальную плоскость. Связь между значениями освещенности в этой точке соответственно в горизонтальной  $E_r$  и наклонной  $E_n$  плоскостях выражается соотношением

$$E_n = \psi E_r,$$

где  $\psi = \cos\theta \pm \frac{l}{h_{св}} \sin\theta$ ;  $\theta$  – угол наклона плоскости к горизонтали, град;  $l$  – наименьшее расстояние на плане от проекции светильника до наклонной плоскости (рис. 2.7).

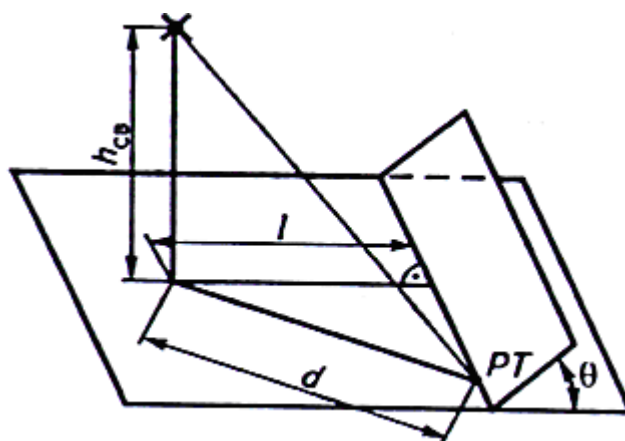


Рис. 2.7. К расчёту освещенности наклонной поверхности

**Расчет общего локализованного освещения** в помещениях выполняют с использованием графиков пространственных изолукс (рис. 2.8). На таких графиках, построенных для различных светильников, оснащенных лампой со световым потоком 1000 лм, нанесены линии условной освещенности  $e$ . Расчет выполняют следующим образом.

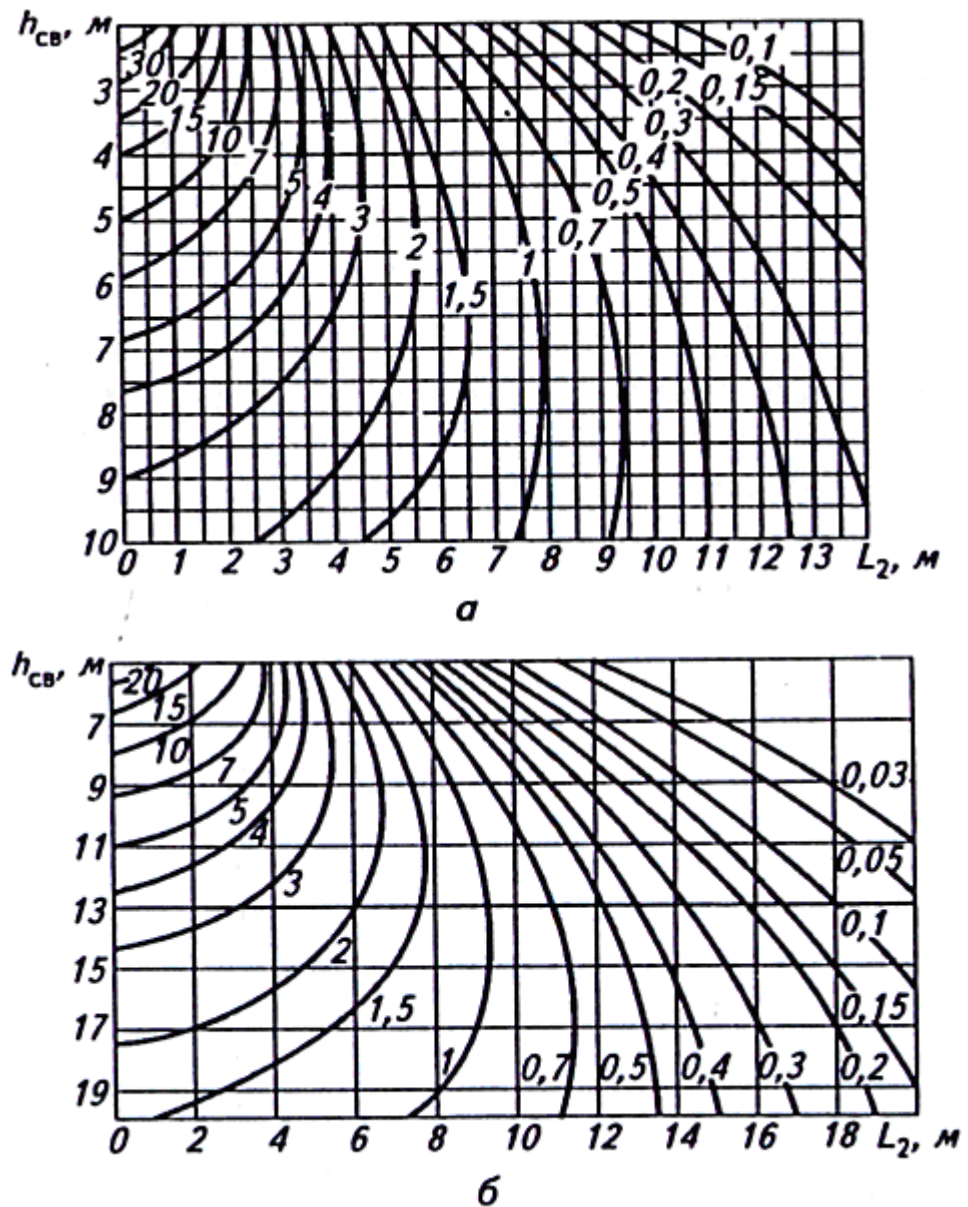
Зная  $h_{св}$  и  $L_2$  (см. рис. 2.6), определяют условную освещенность  $e$  по графику для выбранного типа светильника.

Вычисляют суммарную условную освещенность от всех учитываемых светильников, лк:

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_n ,$$



где  $e_1, e_2, \dots, e_n$  – условная освещенность соответственно от первого, второго и  $n$ -го учитываемых светильников.



**Рис. 2.8. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности:**

*а*– для светильников типа «Универсаль» и «Астра»; *б* – для светильников типа «Глубокоизлучатель»

На основе известных значений  $E_n$ ,  $K_3$  и  $\mu$  находят расчетный световой поток лампы одного светильника, лм:

$$F_{л.р} = \frac{1000 E_n K_3}{\mu \sum e}$$

Из *таблицы 20* приложения выбирают лампу с близким по значению

световым потоком  $F_{\text{л}}$  (обычно выбирают лампу с большим световым потоком).

Определяют фактическую освещенность, которая будет создана при выбранных лампах, лк:

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{н}} F_{\text{л}} / F_{\text{лр}}.$$

Фактическая освещенность должна превышать нормативную не более чем на 20 %. Допускается эксплуатация системы освещения при  $E_{\text{ф}} < E_{\text{н}}$  на 0...10 %.

## 2.2.4. РАСЧЕТ ПРОЖЕКТОРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Применение прожекторного освещения наружных площадок обеспечивает ряд существенных преимуществ по сравнению с освещением светильниками: экономичность, благоприятное соотношение вертикальной и горизонтальной освещенности, меньшая загруженность территории столбами, а также удобство обслуживания осветительной установки. Прожекторное освещение можно рассчитывать приближенно по мощности прожекторной установки.

Число прожекторов определяют исходя из нормативной освещенности и мощности лампы. Ориентировочно:

$$N = m E_{\text{н}} k S / P_{\text{л}},$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий световую отдачу источника света, коэффициент полезного действия прожекторов и коэффициент использования светового потока: для ламп накаливания  $m = 0,2...0,25$ , ламп типа ДРЛ и ГЛ–0,12...0,16, типа ДРИ – 0,06...0,1, для ксеноновых ламп ДКсТ–10000  $m = 0,35...0,45$ ;  $E_{\text{н}}$  – нормативная освещенность горизонтальной поверхности, лк (см. п. 2.3. или табл.1 приложения);  $k$  – коэффициент запаса: для прожекторов с лампами накаливания  $k = 1,5$ , с газоразрядными лампами  $k = 1,7$ ;  $S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $P_{\text{л}}$  – мощность лампы, Вт (табл. 2.9).

Минимальную высоту установки прожекторов над освещаемой поверхностью, м, во избежание их слепящего действия следует вычислять по формуле:

$$h = \sqrt{I_{\text{max}} / 300},$$

где  $I_{\text{max}}$  — максимальная сила света прожектора, кд (см. табл. 2.5).

Расчетное значение  $h$  должно быть не менее значений  $h_{\text{min}}$ , указанных в таблице 2.9.

Оптимальный угол наклона прожектора к горизонтальной плоскости

(рис. 2.9), град,

$$\theta_r = \arcsin \left[ \sin^2 \beta_g + \left( \pi h^2 E_n k \frac{\sin 2\beta_g \cos \beta_g \sin \beta_r}{2F_{\text{л}}} \right)^{0,75} \right]^{0,75}$$

где  $\beta_v$ ,  $\beta_r$  — углы рассеяния прожектора соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях (см. табл. 2.9);  $F_{\text{л}}$  — световой поток используемой лампы, лм, (см. табл. 20 приложения). Для ламп ДНаТ-250 и ДНаТ-400 световой поток соответственно равен 25000 и 40000 лм, а для ламп типа ДРЛ его выбирают из следующих соотношений:

Марка лампы	ДРЛ-80	ДРЛ-125	ДРЛ-250	ДРЛ-400	ДРЛ-700	ДРЛ-1000
$F_{\text{л}}, \text{лм}$	2300	3700	8200	14400	25900	37400

Для освещения вертикально расположенных поверхностей наивыгоднейший угол наклона прожектора к горизонтальной плоскости, град,

$$\theta_B = \arctg \sqrt{I_{\text{max}} / (E_v h^2)},$$

где  $E_v$  — требуемая освещенность вертикальной поверхности, лк.

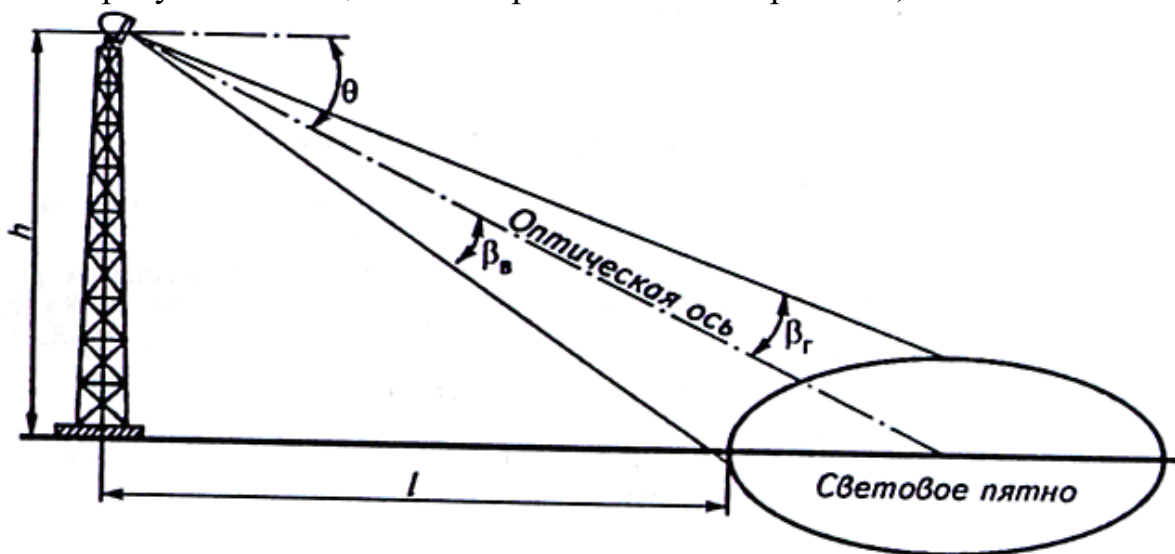


Рис. 2.9. К расчёту прожекторного освещения

Следует помнить, что при установке прожектора на мачте с углом наклона  $\theta$  у ее подножия остается неосвещенная зона, длина которой увеличивается с уменьшением угла  $\theta$ . Длину неосвещенной зоны вычисляют по формуле:

$$l = \frac{h}{\tg(\theta + \beta_g)}.$$

Увеличения площади освещаемого участка добиваются с помощью

соответствующего расположения прожекторов относительно друг друга и увеличивая угол наклона  $\theta$ .

Таблица 2.9.

## Показатели прожекторов для освещения открытых площадок

Марка прожектора	Марка лампы	Мощность лампы $P_{\text{л}}$ , Вт	Максимальная сила света $I_{\text{max}}$ , КД	Минимально допустимая высота установки прожекторов $h_{\text{min}}$ , м, при значении $E_{\text{н}}$ , лк								Угол рассеяния, град	
				0,5	1	2	3	5	10	30	50	$\beta_r$	$\beta_{\text{в}}$
ПСМ-5-1	Г220-1000 ДРЛ-700	100 700	120000 52000	35	28	22	20	17	13	7	6	10,5	10,5
				23	19	19	13	11	8	5	4	37	45
ПСМ-30-1	Г220-200	200	33000	18	15	11	10	9	7	4	3	8	8
ПЗР-400	ДРЛ-400	400	19000	14	11	8	8	7	5	3	3	30	30
ПЗР-250	ДРЛ-250	250	11000	10	8	6	6	5	4	3	3	30	30
ПЗС-45	Г220-1000 ДРЛ-700	1000 700	130000 30000	35	29	22	20	18	13	7	6	13	12
				17	14	11	10	8	6	4	3	50	50
ПЗС-35	Г220-500	500	50000	22	18	14	13	11	8	5	4	10,5	9,5
ПКН-1500-1	КГ220-1500	1500	90000	30	25	20	17	15	11	6	5	10	8,5
ПКН-1500-2	КГ200-1500	1500	45000	20	17	13	12	10	8	5	4	27	6
СКсН-10000	ДКсТ-10000	10000	165000	40	33	25	23	20	15	15	15	93,5	12



### 3. РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИИ

#### ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ

Для проектирования и расчета вентиляции производственных помещений необходимы следующие данные: наименование помещения и его размеры, число рабочих мест и их назначение, численность работающих, характер и категория работ по уровню энергозатрат (приложение 68). Перечень и размещение оборудования, машин, время работы, места выделения загрязнений (газов, паров, пыли, аэрозолей), интенсивность теплового облучения работников, значения предельно допустимых концентраций вредных веществ (по ГОСТ 12.1.005—88\* «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» или по гигиеническим нормативам ГН 2.2.5.686—98), характеристика веществ по пожаро- и взрывоопасности.

Располагая указанными данными, приступают к проектированию вентиляции, которая по способу побуждения воздуха может быть принудительной (механической) или естественной.

**Механическая вентиляция** по принципу действия может быть приточной, вытяжной или приточно-вытяжной.

*Приточную вентиляцию* применяют в производственных помещениях со значительным выделением теплоты при малой концентрации вредных веществ в воздухе, а также для усиления воздушного подпора в помещениях с локальным выделением вредных веществ при наличии систем местной вытяжной вентиляции.

*Вытяжную вентиляцию* применяют для активного удаления воздуха, равномерно загрязненного по всему объему помещения, при малых концентрациях вредных веществ в воздухе и небольшой кратности воздухообмена. Кратность воздухообмена,  $\text{ч}^{-1}$ , определяют по формуле:

$$k = L/V_{\text{вн}}$$

где  $L$  — объем удаляемого из помещения или подаваемого в помещение воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $V_{\text{вн}}$  — внутренний объем помещения,  $\text{м}^3$ .

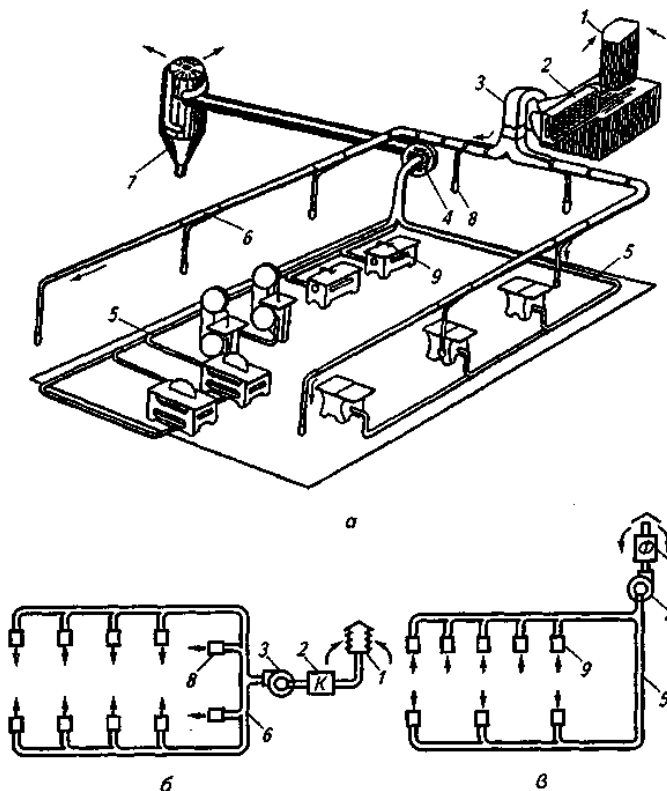
*Приточно-вытяжную вентиляцию* применяют при значительном выделении вредных веществ в воздух помещений, в которых необходимо обеспечить особо надежный воздухообмен с повышенной кратностью (Рис.3.1)

В тех случаях, когда возможно внезапное поступление в воздух рабочей зоны опасных токсических и взрывоопасных веществ, проектируют *аварийную вентиляцию*. При отсутствии в ведомственных документах указаний об аварийной вентиляции следует предусматривать, чтобы она с совместно действующей вентиляцией другого назначения (чаще всего рабочей) обеспечивала при необходимости воздухообмен кратностью  $k \geq 8 \text{ ч}^{-1}$ .

Аварийная вентиляция должна быть, как правило, вытяжной и удалять воздух наружу. Выбросы аварийной вентиляции не следует располагать в местах постоянного пребывания людей и размещения воздухозаборных устройств систем вентиляции и кондиционирования.

**Рис. 3.1. Механическая приточно-вытяжная вентиляция:**

*а* — общий вид: 1 — воздухоприемное устройство; 2 — калорифер; 3, 4 — соответственно приточный и вытяжной вентиляторы; 5, 6 — соответственно вытяжные и приточные воздуховоды; 7 — фильтр (пылеуловитель); 8, 9 — соответственно приточные и вытяжные вентиляционные насадки; *б* — схема работы приточной части системы вентиляции; *в* — схема работы вытяжной части системы вентиляции



**Естественная вентиляция может осуществляться посредством аэрации или через вытяжные каналы и шахты.**

**Аэрация** — организованный управляемый воздухообмен за счет естественных природных сил (ветрового и теплового напоров). Аэрацию применяют для вентиляции производственных помещений большого объема, в которых применение механической вентиляции в целом для всего помещения потребует больших капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Естественная вентиляция через специально предусмотренные вытяжные каналы или шахты рекомендуется для помещений небольших объемов при кратности воздухообмена  $k \leq 3 \text{ ч}^{-1}$ . Для повышения эффективности работы такой вентиляции на верхнем конце наружной части вытяжных каналов монтируют дефлекторы. Такую систему вентиляции следует применять в помещениях с незначительным выделением вредных веществ (хранилищах, помещениях для хранения минеральных удобрений, кормоцехах, нефтехранилищах, животноводческих помещениях).

При естественной вентиляции воздух в помещения следует подавать через



проемы, расположенные в обеих продольных стенах: в теплый период года на уровне не более 1,8 м от пола до нижнего края проема, в холодный период года на уровне не ниже 4 м.

Подача приточного воздуха без его подогрева в холодный период года на более низких отметках допускается только при осуществлении мероприятий, предотвращающих непосредственное воздействие холодного воздуха на работающих.

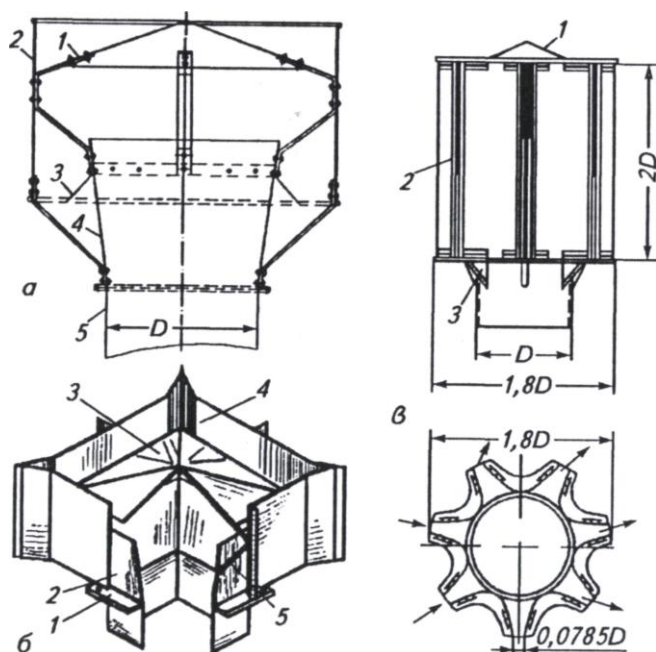
Выброс воздуха в атмосферу под действием теплового и ветрового напоров следует предусматривать через открывающиеся проемы окон и фонарей, шахты с дефлекторами и без них, исключая случаи, для которых технико-экономическими расчетами обосновано применение вытяжки воздуха системами с механическим побуждением. Число шахт для удаления воздуха из верхней зоны следует принимать минимальным.

Дефлекторы (рис. 3.2) обеспечивают устойчивую вытяжку воздуха независимо от направления ветра. Они предназначены для увеличения пропускной способности вытяжных шахт за счет использования ветрового напора. Дефлекторы устроены таким образом, что при обдувании их ветром участок, работающий на вытяжку, имеет большую площадь, чем участок, работающий на приток. В результате разность давлений на концах вытяжной трубы увеличивается, и производительность вентиляции возрастает.

В шахтах и дефлекторах при необходимости следует предусматривать регулирующие клапаны с приводом, обеспечивающим управление ими из рабочей зоны.

Управление фрамугами должно быть механизировано и легко осуществляться изнутри и снаружи помещений.

Воздухоприемные отверстия приточных систем с механическим побуждением, как правило, следует предусматривать в стенах зданий.



**Рис. 3.2. Дефлекторы:**

- а - ЦАГИ:** 1 – колпак; 2 – обечайка; 3 – конус; 4 – диффузор; 5 – шахта;  
**б – остроугольный:** 1 – фланец; 2 – диффузор; 3 – колпак; 4 – корпус; 5 – лапка;  
**в – звездообразный:** 1 – колпак; 2 – корпус; 3 – косынка для крепления к трубе

Допускается также применение отдельно установленных воздухоприемных устройств. Воздухоприемные отверстия необходимо размещать на высоте не менее 2 м от уровня земли, а при заборе воздуха из зеленой зоны – не менее 1 м от уровня земли.

При проектировании *вытяжной механической вентиляции* следует учитывать плотность удаляемых паров и газов. Причем если она меньше плотности воздуха, то воздухоприемники располагают в верхней части помещений, а если больше – в их нижней части.

Выброс в атмосферу загрязненного воздуха, удаляемого механической вентиляцией, должен предусматриваться над кровлей зданий. Выброс воздуха через отверстия в стенах без устройства шахт, выведенных выше кровли, не допускается. В виде исключения выброс может предусматриваться через отверстия в стенах и окнах, если вредные вещества не будут заноситься в другие помещения.

Местную вытяжную вентиляцию устраивают в местах значительного выделения газов, паров, пыли, аэрозолей. Такая вентиляция предотвращает попадание опасных и вредных веществ в воздух производственных помещений.

Местную вытяжную вентиляцию следует применять на газо- и электросварочных постах, металлорежущих и заточных станках, в кузнечных цехах, гальванических установках, аккумуляторных цехах, на постах технического обслуживания, в помещениях у мест пуска автомобилей и тракторов.

*Технологические выбросы, а также выбросы воздуха, содержащего пыль, ядовитые газы и пары, следует очищать перед выпуском их в атмосферу.*

Объем воздуха, который необходимо подавать в помещение с требуемыми параметрами воздушной среды в рабочей или обслуживаемой зоне, следует рассчитывать на основании количеств теплоты, влаги и поступающих вредных веществ с учетом неравномерности их распределения по площади помещения. При этом принимают во внимание количество удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны воздуха местными вытяжными устройствами и общеобменной вентиляцией. ***Запрещается рассчитывать необходимый воздухообмен для производственных помещений по табличным значениям кратности воздухообмена  $k$ .*** По этому параметру допускается рассчитывать воздухообмен в основном санитарно-бытовых и общественно-административных помещений (табл. 3.1)

**Таблица 3.1.**

**Кратность воздухообмена в зависимости от типа помещений**

Наименование помещений	Кратность воздухообмена $k$ , ч <sup>-1</sup>	
	по притоку	по вытяжке
Вестибюли	2	—
Гардеробные, умывальные	—	1
Душевые	—	75 м <sup>3</sup> на одну сетку
Уборные		50 м <sup>3</sup> на один унитаз 25 м <sup>3</sup> на один писсуар
Курительные	—	10
Помещения для личной гигиены женщин	2	2
Помещения для отдыха	5	4
Помещения для обогрева работающих	5	5
Помещения общественных организаций	—	1,5
Залы собраний вместимостью: до 100 чел.	3	3

более 100 чел.	40 м <sup>3</sup> на одного человека (в холодный и переходный периоды года 50% рециркуляции)
----------------	--

При затруднениях в определении количества выделяющихся вредных веществ расчет воздухообмена проводят согласно Санитарным нормам, в которых указано: «В производственных помещениях с объемом на одного работающего менее 20 м<sup>3</sup> следует проектировать подачу наружного воздуха в количестве не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на каждого работающего, более 20 м<sup>3</sup> — не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на каждого работающего».

Если в воздух рабочей зоны выделяется несколько вредных веществ однонаправленного действия, то при расчете общеобменной вентиляции следует суммировать объемы воздуха, необходимые для разбавления каждого вещества в отдельности. Вредные вещества однонаправленного или однородного действия влияют на одни и те же системы организма, поэтому при замене одного компонента смеси другим токсичность смеси не изменяется. Однонаправленностью действия обладают, например, смеси углеводородов, сильные минеральные кислоты (серная, соляная, азотная), аммиак и оксиды азота, угарный газ и цементная пыль. В этом случае допустимое содержание вредных веществ определяют по формуле:

$$\frac{C_1}{g_{\text{ПДК}_1}} + \frac{C_2}{g_{\text{ПДК}_2}} + \dots + \frac{C_i}{g_{\text{ПДК}_i}} \leq 1$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_i$  — концентрации вредных веществ в воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup>;  $g_{\text{ПДК}_1}, g_{\text{ПДК}_2}, g_{\text{ПДК}_i}, \dots$  — предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ, мг/м<sup>3</sup>.

На следующем этапе проектирования составляют расчетную схему сети воздуховодов, на которой указывают местные вытяжные устройства и сопротивления (колена, повороты, шиберы, расширения, сужения), а также номера расчетных участков сети расширения, сужения), а также номера расчетных участков сети. Расчетный участок — это воздуховод, по которому проходит одинаковый объем воздуха при одинаковой скорости.

По количеству воздуха, проходящего в воздуховоде за единицу времени, и его полному давлению подбирают центробежный вентилятор по аэродинамическим характеристикам. При подборе вентилятора нужно обеспечить максимальное значение коэффициента полезного действия (КПД) установки и снижение уровня шума при работе.

В соответствии со Строительными нормами и правилами выбирают вентилятор нужного исполнения: обычного, антикоррозионного, взрывобезопасного, пылевого. Рассчитывают необходимую мощность электродвигателя, по которой

подбирают электродвигатель соответствующего исполнения. Выбирают способ соединения электродвигателя с вентилятором.

Определяют способ обработки приточного воздуха: очистка, подогрев, увлажнение, охлаждение.

Выбросы в атмосферу содержащего вредные вещества воздуха, удаляемого из систем общеобменной вытяжной вентиляции, и рассеивание этих веществ следует предусматривать и обосновывать расчетом таким образом, чтобы концентрации их не превышали в атмосферном воздухе населенных пунктов максимальных среднесуточных значений, указанных в *таблице 24* приложения.

Степень очистки выбросов воздуха, содержащего пыль, принимают по *таблице 3.2*.

**Таблица 3.2.**

**Допустимое содержание пыли в выбросах воздуха в зависимости от ее ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений**

<i>ПДК пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, мг/м<sup>3</sup></i>
$\leq 2$	30
От 2 до 4	60
От 2 до 6	80
От 6 до 10	100

Если в выбросах воздуха содержание пыли не превышает значений, указанных в *таблице 3.2*, то этот воздух разрешается не подвергать очистке.

Для очистки воздуха, удаляемого из помещений, используют инерционные и центробежные пылеотделители, а также фильтры различных конструкций.

### **3.1. РАСЧЁТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Для расчёта естественной вентиляции необходимо иметь следующие данные: назначение, наименование помещения и его размеры, наименование и количество машин, материалов или сырья, от которых выделяются вредные пары, газы, пыль, аэрозоли; среднюю скорость господствующего ветра для данной местности. ПДК вредных веществ принимают по ГОСТ 12.1.005-88\* (см *табл. 24* приложения) или по гигиеническим нормативам ГН 2.2.5.1313—03. Далее определяют количество выделяющихся в воздух помещений вредных веществ за единицу времени.

Воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч, необходимый для поддержания в помещении допустимой

концентрации вредных газов или паров, рассчитывают по формуле:

$$L = G / (g_{\text{дон}} - g),$$

где  $G$  – количество вредных газов или паров, выделяющихся в помещении за единицу времени, мг/ч;  $g_{\text{дон}}$  – ПДК вредных веществ в помещении, мг/м<sup>3</sup>;  $g$  – концентрация вредных веществ в воздухе, поступающем в помещение, мг/м<sup>3</sup>: обычно  $g=0$ , в остальных случаях  $g$  не должна превышать 30 % от ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений.

Затем вычисляют суммарную площадь сечения вентиляционных каналов, м<sup>2</sup>:

$$\sum F = \frac{L}{15948 \psi \sqrt{\frac{h(\rho_n - \rho_v)}{\rho_n}}}$$

где  $\psi$  – коэффициент, учитывающий сопротивление движению воздуха в каналах (обычно  $\psi = 0,5$ );  $h$  – высота вытяжных каналов, м;  $\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_v$  – плотность внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

$$\text{Плотность воздуха, кг/м}^3: \rho = \frac{353}{273 + t}$$

где  $t$  – температура воздуха, при которой определяют плотность, °С.

Если давление воздуха отличается от нормального (760 мм. рт. ст., или  $1,01 \cdot 10^5$  Па), то плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяют по формуле:

$$\rho = 0,4645 \frac{P}{273 + t}$$

где  $P$  – атмосферное давление, мм. рт. ст.

Площадь сечения одной вытяжной шахты принимают конструктивно, учитывая нормализованный ряд размеров дефлекторов.

$$\text{Рассчитывают число каналов: } n_{\text{выт}} = \sum F / f,$$

где  $f$  – площадь сечения одной шахты, м<sup>2</sup>.

Объем воздуха, удаляемого через один дефлектор, м<sup>3</sup>/ч:  $L_d = L / n_{\text{выт}}$

Диаметр патрубка дефлектора, м :

$$D_n = 0,0188 \sqrt{\frac{L_d}{K_{\text{эф}} v_v}},$$

где  $K_{\text{эф}}$  – коэффициент эффективности: для дефлекторов ЦАГИ  $K_{\text{эф}} = 0,4$ , для звездообразных –  $K_{\text{эф}} = 0,42$ ;  $v_v$  – средняя скорость ветра, м/с (табл. 3.3).

**Таблица 3.3.**

Значения  $v_B$  для некоторых городов России

<i>Город</i>	$v_B$ , м/с	<i>Город</i>	$v_B$ , м/с
Барнаул	5,9	Новосибирск	5,7
Волгоград	8,5	Самара	5,4
Екатеринбург	5	Санкт-Петербург	4,2
Казань	5,7	Саратов	6
Киров	5,3	Ульяновск	5,8
Москва	4,9	Челябинск	4,5
Нижний Новгород	5,1	Ярославль	4,4

- для Ростова – на – Дону : ветер восточный; летом – 3,6 м/с; зимой – 8 м/с

Установлены следующие значения диаметров горловин дефлекторов: 200, 315, 400, 500, 630, 710, 800, 900 и 1000 мм. По требованию потребителей допускается изготовление дефлекторов, диаметр горловины которых более 1000 мм. Поэтому полученное значение  $D_n$  следует округлять в большую сторону до ближайшего значения из указанного ряда.

В конце расчета естественной вентиляции определяют места установки вытяжных каналов и дефлекторов.

### 3.1.1. РАСЧЕТ АЭРАЦИИ

Аэрацию максимально используют в горячих цехах (литейных, кузнечно-прессовых и др.) для отвода из помещений излишка выделяемой теплоты, уменьшения концентрации пыли, газов и снижения энергопотребления системами вентиляции. Расчет аэрации проводят без учета ветрового напора для летнего времени, как наиболее неблагоприятного для осуществления этого процесса. Сущность расчета состоит в определении площади приточных и вытяжных проемов.

Сначала определяют требуемый воздухообмен,  $m^3/ч$ , помещения, в воздух которого выделяются вредные вещества:

$$L = G/(g_{mn}-g).$$

При расчете по избыткам теплоты количество воздуха  $L$ ,  $m^3/ч$ , поступающего через проемы в стенах и удаляемого через аэрационные фонари, рассчитывают по формуле:

$$L = \frac{\chi k_a Q}{6,28(t_e - t_n)},$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий высоту расположения центров приточных

проемов от пола;  $k_a$  – коэффициент, учитывающий температурный режим в помещении и определяемый по формуле:  $k_a = (t_g - t_n)/(t_y - t_n)$ ;

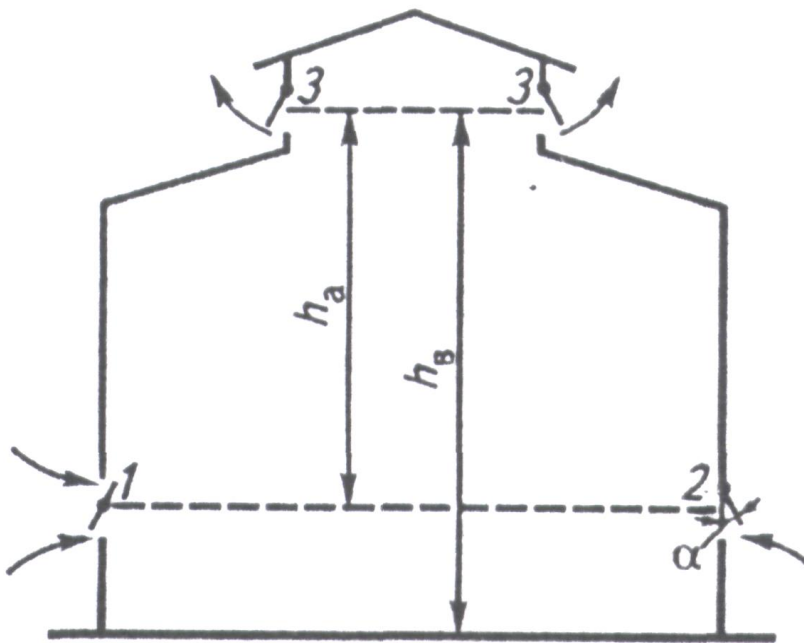
$Q$  – количество теплоты, выделяющейся в помещении, Вт;  $t_g$  – температура воздуха в рабочей зоне, °С;  $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной средней температуре в 13 ч самого жаркого месяца года (табл. 31 приложения);  $t_y$  – температура удаляемого воздуха, определяемая из выражения  $t_y = t_g + a(h_g - 2)$ ;  $a$  – градиент температуры по высоте помещения, °С/м: для помещений с удельным количеством выделяемой теплоты  $q < 23 \text{ Вт/м}^3$   $a = 0,5^\circ\text{С/м}$ , при  $q \geq 23 \text{ Вт/м}^3$   $a = 0,7 \dots 1,5^\circ\text{С/м}$ . Приблизительно можно считать  $t_y = t_n + (10 \dots 15)^\circ\text{С}$ ;  $h_b$  – расстояние от пола до оси вытяжных проемов (рис. 3.3). Как правило, принимают  $h_b > 4,5 \text{ м}$ .

Коэффициент  $\chi$  принимают из следующих значений:

Расстояние от пола до оси проема, м	2	3	4	5
$\chi$	1,04	1,1	1,2	1,35

Коэффициент  $k_a$  можно также определить в зависимости от значений отношения  $f/F$  (здесь  $f$  – площадь, занимаемая выделяющим теплоту оборудованием,  $F$  – площадь цеха):

$f/F$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$k_a$	0,25	0,45	0,62	0,68	0,83	0,87



**Рис. 3.3. Схема к расчету аэрации:**

1 – среднеподвесная приточная створка; 2 – верх неподвесная приточная створка; 3 – верхнеподвесная вытяжная створка

По полученному значению воздухообмена  $L$  вычисляют площадь



приточных и вытяжных проемов, м<sup>2</sup>:

$$\sum F_{пр(выт)} = \frac{L}{15948 \psi_p \sqrt{\frac{h_a (\rho_n - \rho_e)}{\rho_n}}}$$

где  $\psi_p$  — коэффициент расхода, зависящий от конструкций устанавливаемых в приточных и вытяжных проемах створок (см. рис. 3.3) и угла  $\alpha$  их открытия:  $\psi_p = 0,15 \dots 0,67$ ;  $h_a$  — расстояние между центрами приточных и вытяжных проемов по высоте, м.

Значения коэффициента расхода  $\psi_p$  для створок различных конструкций и назначения при угле их открытия  $\alpha = 15 \dots 90^\circ$  приведены ниже:

Тип створки	Среднеподвесная приточная	Верхнеподвесная приточная	Верхнеподвесная вытяжная
$\psi_p$	0,15. . . 0,64	0,25. . . 0,62	0,3. . . 0,67

При наличии одновременно теплового и ветрового напоров зщадь приточных и дующей зависимости:

$$\sum F_{пр(выт)} = \frac{L}{3600 \psi_p \sqrt{\frac{19,82 h_a (\rho_n - \rho_e)}{\rho_n} + \xi v_B^2}}$$

где  $\xi$  — аэродинамический коэффициент, зависящий от конструкции здания и направления ветра (его определяют в процессе продувки модели здания в аэродинамической трубе): при расчетах можно принять  $\xi = 0,5 \dots 0,85$  на наветренной стороне и  $\xi = -0,3 \dots -0,45$  на заветренной стороне здания;  $v_B$  — скорость ветра, м/с.

### 3.2. ПОРЯДОК УКРУПНЕННОГО РАСЧЕТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Для расчета необходимы следующие исходные данные: назначение помещения и его размеры, характер загрязнений; назначение и количество оборудования, материалов, выделяющих вредные вещества и теплоизлучения; характеристика загрязнений по пожароопасности; пожарная опасность помещений; предельно допустимая концентрация вредных веществ в помещении, концентрация загрязнений в приточном воздухе.

Сначала выбирают способ устранения и предупреждения образования токсических, пожаро- и взрывоопасных концентраций, назначают систему вентиляции. Затем разрабатывают схему общеобменной системы вентиляции и

схемы местных систем вентиляции. Вычисляют количество вредных веществ, выделяемых в помещении в течение 1 ч:  $G_M$  – на малярном участке;  $G_T$  – в местах горения топлива;  $G_T$  – возле работающих двигателей.

**Для малярного участка** количество вредных веществ, выделяющихся с окрашенной поверхности, мг/ч:

$$G_M = 10 a q_M m n,$$

где  $a$  – производительность одного рабочего, м<sup>2</sup>/ч: при окраске вручную  $a = 12$  м<sup>2</sup>/ч, при окраске пульверизатором  $a = 50$  м<sup>2</sup>/ч;  $q_M$  – расход лакокрасочных материалов на единицу площади изделия, г/м<sup>2</sup>: при распылении  $q_M = 60 \dots 90$  г/м<sup>2</sup>, при нанесении кистью  $q_M = 100 \dots 180$  г/м<sup>2</sup>;  $m$  – содержание летучих компонентов в краске, % (табл.25, 26 приложения);  $n$  – численность рабочих.

В местах горения топлива количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения, мг/ч:

$$G_T = 10^6 a_T K_T d m_T,$$

где  $a_T$  – доля продуктов сгорания, поступающих в воздух рабочей зоны: обычно  $a_T \leq 0,05$ ;  $K_T$  – коэффициент, учитывающий количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива (табл. 3.4);  $d$  – доля вредного вещества, по которому проводят расчет продуктов сгорания;  $m_T$  – масса топлива, сжигаемого в печах, горнах или топках котлов, кг/ч.

Количество вредных веществ (оксидов углерода и азота, альдегидов), выделяющихся при работе бензинового двигателя внутреннего сгорания, мг/ч:

$$G_{T_1} = (9 + 12V_{ц}) \frac{p_o t}{6} 10^3,$$

дизеля:

$$G_{T_2} = (160 + 13,5V_{ц}) \frac{p_o t}{6} 10^3$$

где  $V_{ц}$  – рабочий объем цилиндров двигателя, л;  $p_o$  – объемная часть вредных веществ в отработавших газах бензиновых двигателей (оксида углерода 1,5...6 %) и у дизелей (оксида углерода 0,05...0,07 %, оксидов азота 0,007...0,009 %, альдегидов 0,02...0,05 %);  $t$  – время работы двигателя, мин.

Таблица 3.4.

Значения коэффициента  $K_{\Gamma}$  для различных топлив

<i>Вид топлива</i>	<i>Значение <math>K_{\Gamma}</math></i>
Угли:	
антрацит	7,81
бурые	3,41 ... 5,94
газовые	6,89 ... 8,9
длиннопламенные	6,1 ... 7,16
жирные	6,94 ... 7,95
слабоспекающиеся	5,71 ... 8,43
тощие	8,31 ... 8,83
Сланцы горючие:	
энергетические	3,22
крупные, мелкие, средние	3,25
Торф фрезерный	3,08
Дрова	3,63
Мазут:	
малосернистый	13,73
сернистый	13,51
высокосернистый	13,19
Природные газы	12,19... 12,93
Попутные газы	13,14... 16,03

Масса влаги, испаряющейся с поверхности пола, кг/ч:

$$G_{\text{в}} = 0,0065 S(t_{\text{с}} - t_{\text{вл}}),$$

где  $S$  – площадь поверхности пола, с которого испаряется влага,  $\text{м}^2$ ;  $t_{\text{с}}$  – показания сухого

термометра аспирационного психрометра, °С;  $t_{\text{вл}}$  – показания влажного термометра психрометра, °С.

Объем воздуха, м³/ч, который необходимо подать в помещение для снижения концентрации вредных веществ (пыли, газа, пара, аэрозоля) до ПДК:

$$L = \frac{G}{g_{\text{ПДК}} - g_n},$$

где  $G$  – количество вредных веществ, выделяемых в помещении, мг/ч;  $g_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая концентрация вредных веществ, в помещении, мг/м³;  $g_n$  – концентрация вредных веществ в наружном воздухе, мг/м³

При известной (фактической) концентрации вредных веществ в помещении  $g_{\text{ф}}$  (табл. 3.5) объем подаваемого воздуха определяют по формуле:

$$L = V_n g_{\text{ф}} / g_{\text{ПДК}},$$

где  $V_n$  – объем помещения, м³.

**Таблица 3.5.**

**Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны при механической обработке материалов**

<i>Обрабатываемый материал (вид обработки)</i>	<i>Режим обработки: скорость <math>v</math>, м/мин; подача <math>s</math>, мм/об; глубина <math>t</math>, мм</i>	<i>Концентрация пыли, мг/м³</i>
Латунь ЛЦ40С (точение)	$v = 200 \dots 250$ ; $s = 0,2 \dots 0,3$ ; $t = 2 \dots 3$	14,5...15,5
Бронза Бр ОЦС 6-6-3 (точение)	$v = 208$ ; $s = 0,4$ ; $t = 3$	20
Медь (точение)	$v = 200 \dots 300$ ; $s = 0,1 \dots 0,2$ ; $t = 0,1 \dots 0,2$	113...193
Серый чугун СЧ 32 (точение)	$v = 80 \dots 120$ ; $s = 0,4 \dots 0,6$ ; $t = 2 \dots 6$	14,5...160
Чугун СЧ 32 (фрезерование)	$v = 56,2$ ; $t = 2$ ; $s = 1000$ мм/мин	120...123
Чугун СЧ 32 (сверление)	сверло $d = 8$ мм; $v = 20,8$ ; $s = 0,15$	10...12
Асбоцемент (фрезерование)	$v = 30 \dots 60$ ; $t = 1 \dots 2$ ; ; $s = 40 \dots 60$ мм/мин	5,7...32,6

Для удаления избыточной теплоты в помещение необходимо подать воздух объемом:

$$L = \frac{Q_{изб}}{c\rho_n(T_v - T_{нр})},$$

где  $Q_{изб}$  – суммарное количество избыточной теплоты, кДж/ч;  $c$  – удельная теплоемкость сухого воздуха, равная 0,99 кДж/ (кгК);  $\rho_n$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $T_{вн}$  – температура воздуха в помещении, К;  $T_{нр}$  – расчетная температура наружного воздуха, К.

Суммарное количество избыточной теплоты определяют по формуле:

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_э + Q_{ос} + Q_{п} + Q_{м} + Q_{л} \text{ кДж/ч},$$

где  $Q_{об}$  – количество теплоты, кДж/с, выделяемое механическим оборудованием, приводимым в действие электродвигателями, кДж/ч;

$Q_э$  – теплота, поступающая в помещение от электродвигателей, кДж/ч;

$Q_{ос}$  – количество теплоты, от источников искусственного освещения, кДж/ч;

$Q_{п}$  – количество теплоты, выделяемое нагретыми поверхностями оборудования, трубопроводов, кДж/ч;

$Q_{м}$  – тепловыделения от остывающего металла, кДж/ч;

$Q_{л}$  – количество теплоты, выделяемой людьми, кДж/ч.

Источником теплоты в помещениях часто является технологическое оборудование.

Количество теплоты, кДж/с, выделяемое механическим оборудованием, приводимым в действие электродвигателями:

$$Q_{об} = NK_3K_oK_T,$$

где  $N$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;  $K_3 = 0,5...0,9$  – коэффициент загрузки электродвигателя;  $K_o = 0,5...1$  – коэффициент одновременности работы оборудования;  $K_T = 0,1...1$  – коэффициент, учитывающий долю энергии, переходящую в теплоту: например, для насосов и вентиляторов  $K_T = 0,1...0,3$ ; для металлорежущих станков  $K_T = 1$ .

Для приближенного определения количеств теплоты, выделяемых в механических и механосборочных цехах, можно принять  $K_3K_oK_T = 0,25$ .

Теплота, поступающая в помещение от электродвигателей, кДж/с:

$$Q_э = NK_3K_o \frac{1-\eta}{\eta},$$

где  $\eta$  – КПД электродвигателя определяется по каталогу или по установленной мощности электродвигателя, приведенной ниже (таблица 3.6.):

Таблица 3.6.

$N, \text{кВт}$	$\eta$	$N, \text{кВт}$	$\eta$
$< 0,5$	0,75	10 – 28	0,88
0,5 – 5	0,84	28 – 50	0,90
5 – 10	0,85	$> 50$	0,92

Количество теплоты, кДж/с, от источников искусственного освещения определяют по суммарной мощности светильников:

$$Q_{oc} = N_{oc}\eta_o,$$

где  $N_{oc}$  – суммарная мощность установленных в помещении светильников, кВт;  $\eta_o = 0,92...0,97$  – коэффициент перехода электрической энергии в тепловую для открытых ламп накаливания. В случае нахождения ламп внутри осветительной арматуры (за стеклом, рассеивателем и т. п.) принимают для люминесцентных ламп  $\eta_o = 0,15$ , для ламп накаливания  $\eta_o = 0,45$ .

Количество теплоты, кДж/с, выделяемое нагретыми поверхностями оборудования, трубопроводов:

$$Q_{\pi} = \sum S_i \alpha_i (t_{\text{нп}i} - t_g) 10^{-3},$$

где  $\sum S_i$  — суммарная площадь нагретых поверхностей, м<sup>2</sup>;  $\alpha_i$  — коэффициент теплопередачи  $i$ -й поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·°C): для вертикальных поверхностей при  $(t_{\text{нп}} - t_b) < 5$  °C  $\alpha = 3,8...4,1$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C), при  $(t_{\text{нп}} - t_b) > 5$  °C  $\alpha = 5,2...7,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_{\text{нп}}$  — температура нагрева  $i$ -й поверхности.

Суммарные выделения теплоты (конвекцией и лучеиспусканием), Вт, от нагретых поверхностей производственного оборудования и машин, не имеющих наклонных или сферических поверхностей, определяют по формуле:

для вертикальных поверхностей:

$$P_v = 1,16 \cdot 10^{-3} F_v \left\{ 2,2 \Delta T \sqrt[4]{\Delta T} + 3,4 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \right\};$$

для горизонтальных поверхностей:

$$P_{\Gamma} = 1,16 \cdot 10^{-3} F_{\Gamma} \left\{ 2,8 \Delta T \sqrt[4]{\Delta T} + 3,4 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \right\};$$

где  $F_v$ ,  $F_{\Gamma}$  — соответственно площадь вертикальных и горизонтальных нагретых

поверхностей оборудования, м<sup>2</sup>;  $\Delta T$  – разность температур нагретой поверхности и воздуха помещения, К;  $T_1$  – температура нагретой поверхности, К;  $T_2$  – температура поверхности стен внутри помещения, К, обычно принимаемая на 3...5 К ниже температуры воздуха.

Когда температура нагретых поверхностей не превышает 323 К, излучение незначительно, поэтому учитывают только теплоту, поступающую за счет конвекции. При этом:

$$P_B = 2,552 \cdot 10^{-3} F_B \Delta T^4 \sqrt{\Delta T} ; P_T = 3,248 \cdot 10^{-3} F_T \Delta T^4 \sqrt{\Delta T} .$$

Теплоотдача металла определяется по формуле:

$$Q_M = c G_M (t_H - t_K) b \text{ ккал/час},$$

где  $c$  – средняя теплоемкость металла

$b$  – интенсивность тепловыделений во времени, принимаемая по табл. 3.7.

**Таблица 3.7.**

Вес изделий в кг	Интенсивность тепловыделений $b$ по времени в час		
	1	2	3
До 200	0,75	0,15	0,1
200 – 1000	0,55	0,3	0,15
Свыше 1000	0,4	0,35	0,25

Количество теплоты, кДж/с, выделяемой людьми, зависит от тяжести выполняемой ими работы и температуры в помещении:  $Q_L = 10^3 n g_y$ ,

где  $n$  – численность работающих в помещении;  $g_y$  – явное количество теплоты, Дж/с, выделяемое одним человеком (табл. 31 приложения).

**Объем воздуха, удаляемого местной вытяжной вентиляцией — вытяжным зонтом** (рис. 3.4) или вытяжной панелью (рис. 3.5), м<sup>3</sup>/ч:

$$L_M = 3600 F v_{опт} K_3,$$

где  $F = a \cdot b$  – площадь рабочего проема вытяжного зонта (панели), м<sup>2</sup>;  $a$ ,  $b$  – соответственно длина и ширина рабочего проема, м;  $v_{опт}$  – оптимальная скорость удаления вредных веществ, м/с (табл. 27 приложения);  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий износ оборудования:  $K_3 = 1,1 \div 1,5$ .

Размеры рабочего проема вытяжного зонта, м :

$$a = c + 0,8h; \quad b = d + 0,8h,$$

где  $c$ ,  $d$  – соответственно длина и ширина перекрываемой поверхности оборудования, м;

$A$  – расстояние по нормали от перекрываемого оборудования до рабочего проема зонта, м.

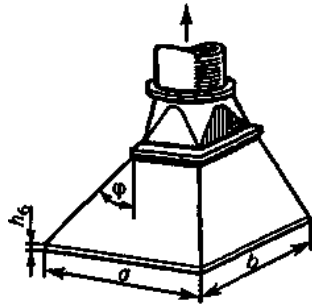


Рис.3.4. Вытяжной зонт

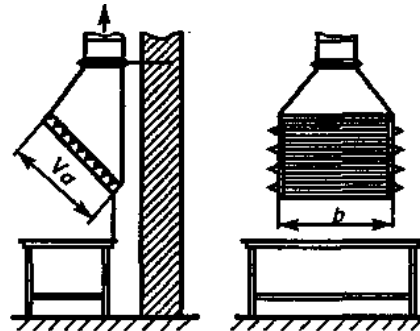


Рис.3.5. Вытяжная панель

Угол раскрытия зонта  $\varphi$ , как правило, принимают не более  $60^\circ$ , а высоту бортика  $h_b$  – в пределах 0,1...0,3 м.

**Для обдирочно-заточных станков :**  $L_M = 1000 A D_{кр}$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от диаметра и типа применяемого круга;  $D_{кр}$  – диаметр абразивного круга, м. При  $D_{кр} < 0,25$  м  $A = 2$ ; при  $D_{кр} = 0,25 \dots 0,6$  м.  $A = 1,8$ ; при  $D_{кр} > 0,6$  м.  $A = 1,6$ ; для полировальных станков с войлочными кругами  $A = 4 \dots 6$ .

**Для сварочного поста:**

Для сварочного поста (рис. 3.6)

$$L = \frac{10Gg_{T.B}}{g_{пдк} - g_H}$$

где  $G$  – масса израсходованных электродов, кг/ч;  $g$  – содержание вредных компонентов в электродах, г/кг (табл.28 приложения);  $i_{T.B}$  – содержание выделяющихся токсичных веществ, % от  $g$  (например, при ручной дуговой сварке содержание марганца 3%, хрома 0,4%, фтористых соединений 3,4%);  $g_{пдк}$  – предельно допустимая концентрация вредных веществ в помещении, мг/м<sup>3</sup>;  $g_H$  – концентрация вредных веществ в наружном воздухе, мг/м<sup>3</sup> (табл.24 приложения);

Часовой объем воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией сварочного поста, м<sup>3</sup>/ч, также можно определить по формуле:

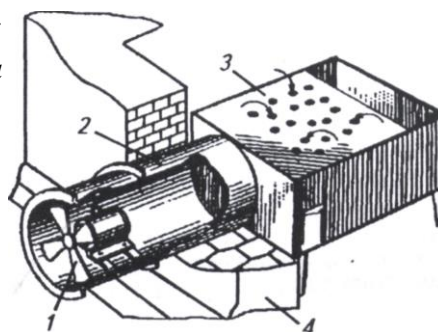
$$L = \frac{Gq}{g_{пдк} - g_H},$$

где  $q$  – удельные выделения вредных веществ на 1 кг расходуемого сварочного материала, мг/кг (табл.3.8.)

Рис. 3.6. Втяжная вентиляция на рабочем месте сварщика:



1 – вентилятор; 2 – вытяжная труба;  
3 – стол сварщика; 4 – стена



**Таблица 3.8.**

**Удельные выделения вредных веществ, мг/кг, при сварке и наплавке**

Технологическая операция	Сварочные материалы	Удельные выделения вредных веществ на 1 кг расходуемого сварочного материала $q$ , мг/кг	
		Наименование	Количество
<b>Ручная дуговая сварка:</b> углеродистых и низколегированных конструкционных сталей	Электроды с покрытием типа: ОМА-2 ОЗС-6 АНО-5 К-5а АНО-6	Марганец	830
			860
			1870
			1530
			1950
теплоустойчивой стали	Электроды типа ЦЛ-17	Хромовый ангидрид	166
коррозионностойкой жаропрочной и жаростойкой сталей	Электроды типа: ОЗЛ-14 ОЗЛ-6 ЭА-606/11 ЦТ-36	То же	460
		»	595
		Марганец	340
		»	1190
высокопрочных среднелегированных сталей	Электроды типа: ЭА-395/9 ЭА-981/15 ВИ-10-6	Хромовый ангидрид	425
		ангидрид	450
		То же	720
Ручная дуговая сварка и наплавка чугуна	Электроды типа: ЦЧ-4 МНЧ-2	Марганец	435
		»	920
Ручная сварка и наплавка меди и ее сплавов	Электроды типа «Комсомолец-100»	»	3900

Ручная сварка алюминия и его сплавов	Электроды: ОЗА-1 ОЗА-2/АК	Оксид алюминия То же	20000 28000
<i>Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка</i> алюминия и его сплавов	Электродные проволоки: АМЦ АМГ	Марганец »	625 780
То же, титановых сплавов	Электродные проволоки	Титан и его диоксид	1750

*Для наплавочной установки* воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч,

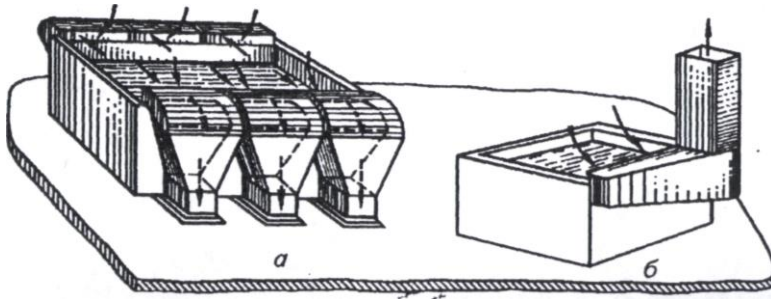
$$L = K^3 \sqrt{F},$$

где  $K$  – переводной коэффициент: при щелевом отсосе  $K = 12$ , при воронкообразном  $K = 13,2$ ;  $I$  – сила сварочного тока, А.

*Для гальванических установок (рис. 3.7):*

$$L = 3600 l \cdot b \cdot v_B \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot n$$

где  $l, b$  – соответственно длина и ширина щели, м:  $b \geq 0,1 B$  (здесь  $B$  – ширина ванны), обычно принимают  $b$  в пределах 50... 100 мм;  $v_B$  – скорость движения воздуха в щели, м/с (табл. 27 приложения);  $k_1$  – коэффициент, учитывающий сопротивление движению воздуха от зеркала ванны к щели: при отсутствии штанг для подвески деталей  $k_1 = 1$ , при наличии штанг  $k_1 = 1,7$ ;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий подвижность воздуха в помещении (табл. 29 приложения);  $n$  – число щелей: в однобортных отсосах  $n = 1$  при  $B < 0,7$  м; в двухбортных  $n = 2$  при  $B \geq 0,7$  м.



**Рис. 3.7. Схема отсоса воздуха от гальванических ванн: а – двухбортного; б – однобортного**

Пользуясь таблицей 29 приложения, следует иметь в виду, что скорость движения воздуха в помещении нужно принимать равной 0,8 м/с при ПДК паров ниже 1 мг/м<sup>3</sup> и 0,5 м/с при ПДК паров более 1 мг/м<sup>3</sup>.

Высота  $h$  подъема паров над уровнем зеркала ванны при ПДК паров ниже 1 мг/м<sup>3</sup> должна быть не более 0,1 $B$ , при ПДК паров от 1 до 10 мг/м<sup>3</sup> – не более 0,15  $B$ . В случае использования неядовитых растворов принимают  $h = (0,2...0,25) B$ .

Общее количество воздуха, удаляемого несколькими системами местной вентиляции:

$$L_{м.общ} = L_{M_1} + \dots + L_{M_n} = \sum_{i=1}^n L_{Mi}$$

Общее количество воздуха, удаляемого общеобменной и местными вытяжными системами вентиляции, м<sup>3</sup>/ч:

$$L_{y\partial} = L + \dots + L_{мобщ}$$

Общее количество приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч:

$$L_{np} = L_{y\partial}$$

Зная объемы циркулируемого воздуха, вычерчивают схему систем вентиляции производственных помещений, на которой указывают расположение местных отсосов, мест подачи и вытяжки воздуха в системе общеобменной вентиляции, делят схему на расчетные участки. Длину воздуховодов выбирают из конструктивных соображений, руководствуясь планом размещения оборудования.

Далее рассчитывают сеть воздуховодов отдельно для приточной и вытяжной

вентиляции. На отдельном участке сопротивление движению воздуха, Па:

$$H_{уч} = \frac{\rho v^2}{2} \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum_{i=1}^n \varepsilon_m \right)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость движения воздуха в трубопроводе, необходимая для переноса различных пылей (табл.3,9);  $\lambda$  – коэффициент сопротивления движению воздуха на участке воздуховода: для металлических труб  $\lambda = 0,02$ , для полиэтиленовых  $\lambda = 0,01$ ;  $l$  – длина участка, м;  $d$  – диаметр воздуховода, м;  $\varepsilon_m$  – коэффициент местных потерь напора (табл. 3.10, рис. 3.8)

**Таблица 3.9.**

**Рекомендуемые значения скоростей движения воздуха**

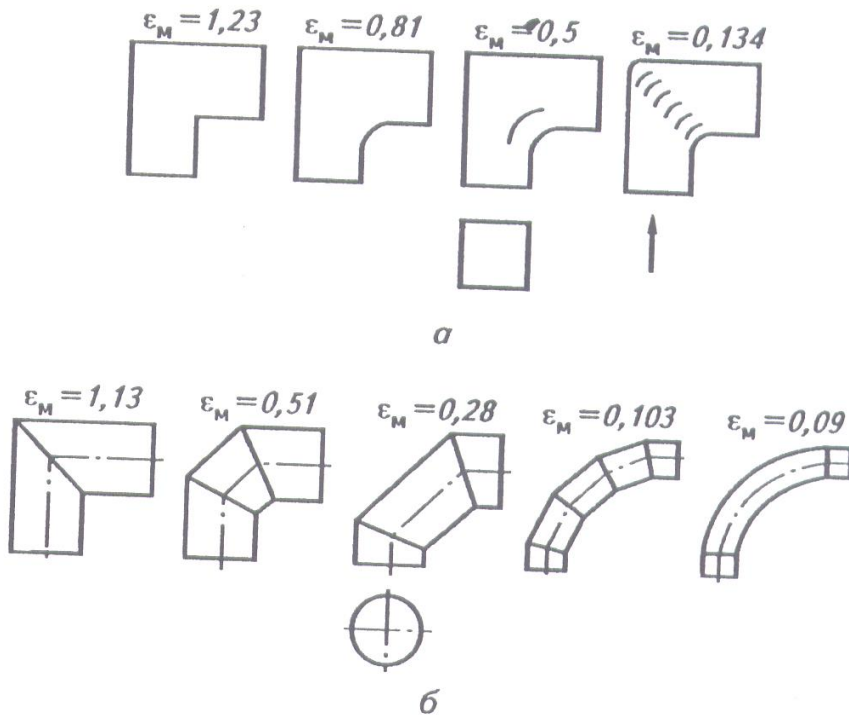
<i>Вид пылей, переносимых движущимся воздухом</i>	<i>Скорость движения воздуха, м/с</i>
Легкая сухая (древесная, табачная, мучная и т.п.)	8...10
Текстильная, зерновая, пыль красок	10-12
Минеральная	12-14
Неорганическая	13-15
Тяжелая минеральная (наждачная)	14-16

**Таблица 3.10.**

**Значения коэффициента для различных местных сопротивлений**

<i>Наименование местного сопротивления</i>	<i>Значения <math>\varepsilon_m</math></i>
Жалюзи на входе	0,5
Диффузор вентилятора	0,15
Жалюзи на выходе	3,0
Внезапное сужение отверстия при $F_2/F_1$ , равно:	
0,1	0,47
0,3	0,38
0,5	0,3
0,7	0,2

Внезапное расширение отверстия при $F_1/F_2$ , равном:	0,2...0,8
0,1	0,81
0,3	0,49
0,5	0,25
0,7	0,1
Колено с углом поворота $\alpha = 120^\circ$	0,5
Колено с углом поворота $\alpha = 150^\circ$	0,2



**Рис. 3.8.**  
**Значения**  
**коэффициентов**  
**местных**  
**потерь напора**  
**в поворотных**  
**коленах: а –**  
**квадратного**  
**сечения; б –**  
**круглого сечения**

Диаметр воздуховода, м, рассчитывают по формуле:

$$d = 0,033 \sqrt{L_{\text{уч}} / (\pi \nu)},$$

где  $L_{\text{уч}}$  – производительность вентиляции на данном участке вентиляционной сети, м<sup>3</sup>/ч.

Полученное значение  $d$  округляют до ближайшего из следующего стандартизированного ряда, мм: 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630 и т.д.

Значения  $\epsilon_m$  для колен с углом поворота  $\alpha = 90^\circ$  в зависимости от формы этих элементов воздуховодов указаны на рисунке 3.8.

Общее сопротивление движению воздуха в воздуховодах сети, Па:

$$H_c = \sum_{i=1}^m H_{iyч}$$

На основе известного воздухообмена рассчитывают производительность вентилятора  $L_B$ , с учетом потерь или подсосов воздуха в вентиляционной сети:

$$L_6 = k_n L$$

где  $k_n$  – поправочный коэффициент на расчетное количество воздуха: при использовании стальных, пластмассовых и асбоцементных трубопроводов длиной до 50 м  $k_n = 1,1$ , в остальных случаях  $k_n = 1,15$ .

По необходимой производительности и полному расчетному давлению выбирают вентиляторы для общеобменной и местной систем вентиляции. Назначают тип, номер и технические характеристики вентиляторов (табл. 3.11), а также их исполнение: обычное – для перемещения неагрессивных сред с температурой не выше 423 К, не содержащих липких веществ, при концентрации пыли и других твердых примесей не более 150 мг/м<sup>3</sup>; антикоррозийное – для перемещения агрессивных сред; взрывобезопасное – для перемещения взрывоопасных смесей; пылевое – для перемещения воздуха с содержанием пыли более 150 мг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 3.11.**

**Технические характеристики центробежных вентиляторов серии Ц4-70**

Номер вентилятор <i>a</i>	Диаметр колеса, мм	Подача, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Асинхронный электродвигатель закрытого исполнения		
			Марка	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Мощность кВт
1	2	3	4	5	6
3	300	0,55...6,8	4AA63A4Y3	1380	0,25
			4AA63B4Y3	1365	0,37
			4A80A2Y3	2850	1,5
			4A80B2Y3	2850	2,2
4	400	0,95...11,5	4A71A4Y3	910	0,37
			4A71A6Y3	1390	0,55
			4A71B4Y3	1390	0,75
			4A80A4Y3	1420	1,1

			4A10052Y3	2880	4
			4A1121.2Y3	2880	5,5
			4A112M2Y3	2900	7,5
5	500	2...17,5	4A71B6Y3	900	0,55
			4A80A6Y3	915	0,75
			4A80B4Y3	1415	1,5
			4A901.4Y3	1425	2,2
			4A100S4y3	1435	3
6	600	2,5...26	4A901.6Y3	935	1,5
			4A100B6Y3	950	2,2
			4A100L4y3	1430	4
			4A112M4Y3	1445	5,5
			4A132S4y3	1455	7,5

• Условное обозначение: 4А –серия; 63...132 – высота оси вращения, мм; А, В – первая и вторая длины сердечника; S, M, L – соответственно малая, средняя и большая длина корпуса; 2, 4, 6 –число полюсов ( $6000/2 = 3000 \text{ мин}^{-1}$ ;  $6000/4 = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ;  $6000/6 = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ); Y – климатическое исполнение (для районов с умеренным климатом); 3 –категория размещения.

Вентиляторы подбирают по аэродинамическим характеристикам (рис. 3.9).

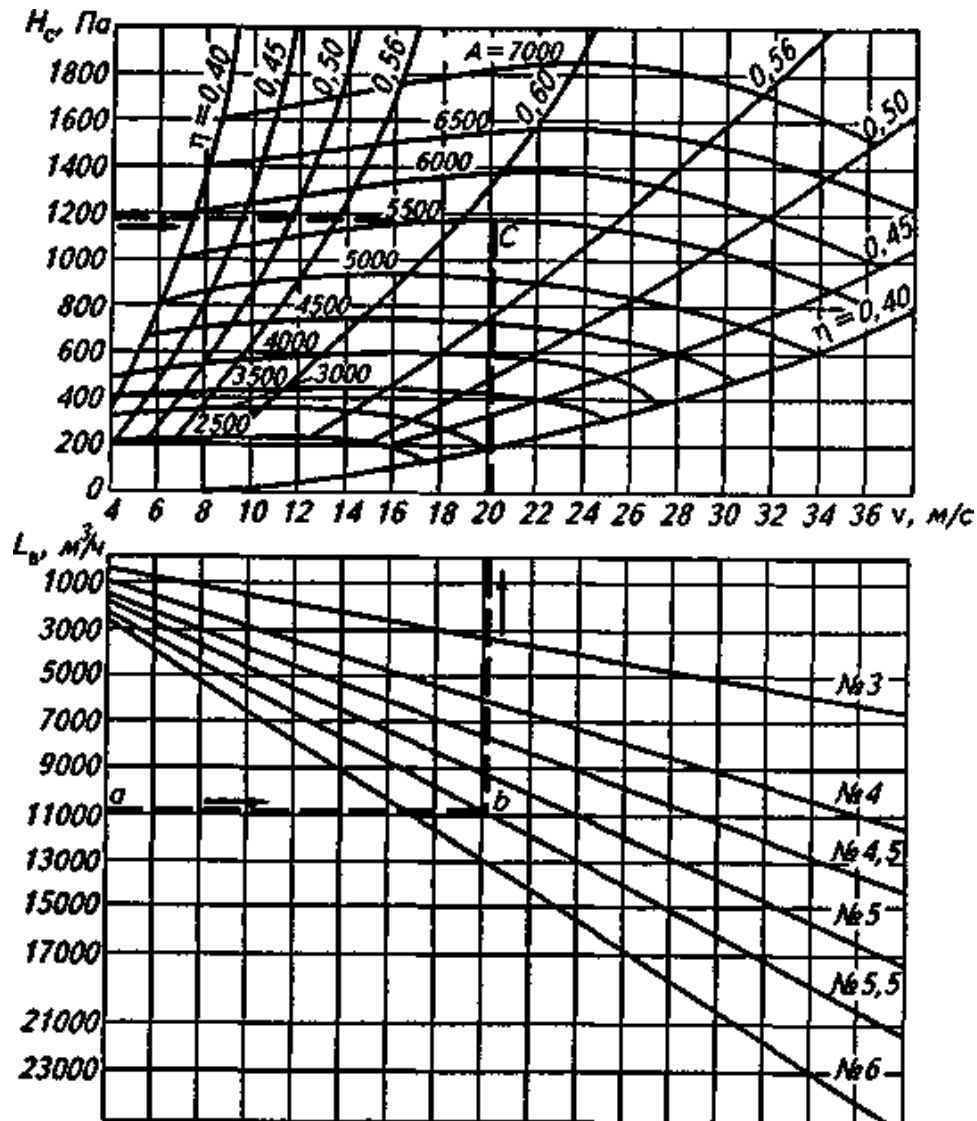


Рис. 3.9. Номограмма для выбора вентиляторов серии Ц4-70

Зная производительность вентилятора проводят горизонтальную прямую (например, из точки *a* на оси ординат в нижней части графика при  $L = 11000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) до пересечения с линией номера вентилятора (точка *b*). Затем из точки *b* поднимают вертикаль до пересечения с линией расчетного давления, равного суммарным потерям напора в вентиляционной сети (например,  $H = 1150 \text{ Па}$ ). В полученной точке с определяют КПД вентилятора  $\eta$  и безразмерный параметр  $A$ . При этом следует обеспечить воздухообмен с наибольшим КПД.

Затем вычисляют частоту вращения вентилятора,  $\text{мин}^{-1}$ :

$$n_B = A/N,$$

где  $N$  – номер вентилятора

С целью уменьшения шума вентиляционной установки следует добиваться выполнения условия:  $\pi D_B n_B < 1800$ ,

где  $D_B$  – диаметр колеса вентилятора, м



Определяют мощность электродвигателей для местной вытяжной и общеобменной систем вентиляции, кВт:

$$P = \frac{L_v H}{3,6 \cdot 10^6 \eta_v \eta_{\Pi}}$$

где  $L_v$  – требуемая производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/ч;  $H$  – давление, создаваемое вентилятором, Па (оно численно равно  $H_c$ );  $\eta_v$  – КПД вентилятора;  $\eta_{\Pi}$  – КПД передачи: колесо вентилятора на валу электродвигателя –  $\eta_{\Pi} = 1$ ; соединительная муфта –  $\eta_{\Pi} = 0,98$ ; клиноременная передача –  $\eta_{\Pi} = 0,95$ ; плоскоременная передача –  $\eta_{\Pi} = 0,9$ .

Выбирают тип электродвигателя: для общеобменной и местной вытяжной систем вентиляции — взрывобезопасного или нормального исполнения в зависимости от удаляемых загрязнений; для приточной системы вентиляции – нормального исполнения.

Установленную мощность электродвигателей для вытяжной, приточной и местной систем вентиляции, кВт, рассчитывают по формуле:

$$P_{\text{уст}} = PK_{3.м.}$$

где  $K_{3.м.}$  – коэффициент запаса мощности (приложение табл.30).

Вычисляют площадь, м<sup>2</sup>, открываемых фрамуг (при отсутствии приточной системы):

$$F_{\text{фр}} = \frac{L_{\text{общ.пр}}}{3600 v_p}$$

где  $L_{\text{общ. пр.}}$  – требуемый объем подачи воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $v_p$  – расчетная скорость воздуха в проеме фрамуги: обычно  $v_p = 1$  м/с.

*При необходимости выбирают способ очистки удаляемого воздуха и устройства для защиты от статического электричества, снижения шума и вибрации.*

#### **4. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

Ощущение человеком теплоты чаще всего оценивают по семибальной шкале: 1 – очень холодно; 2 – холодно; 3 – прохладно; 4 – комфортно; 5 – тепло; 6 – жарко; 7 – очень жарко.

Тепловые ощущения человека, одетого в тонкие брюки, рубашку с длинным рукавом и нижнее бельё, выполняющего в помещении в течение не менее 3 ч. лёгкую работу в сидячем положении, можно определить по формуле:

$$B_7 = 0,243t + 0,049P - 2,803,$$

где  $B_7$  – число баллов, соответствующее определенному теплоощущению работающего;  $t$  – температура воздуха в помещении, °С;  $P$  – парциальное давление водяных паров в воздухе, кПа, которое определяют по выражению  $P = P_n W / 100$ ;  $P_n$  – парциальное давление насыщенных водяных паров при конкретной температуре, кПа: при 10 °С  $P_n = 12,513$  кПа, при 20 °С  $P_n = 23,83$  кПа, при 30 °С  $P_n = 43,25$  кПа;  $W$  – относительная влажность воздуха, %.

Например, при температуре 25°С и относительной влажности 45% число баллов:

$$B_7 = 0,243 \cdot 25 + 0,049 \cdot 33,54 \cdot 45/100 - 2,803 = 4,01,$$

что соответствует ощущению комфорта.

Тепловые излучения в горячих цехах оказывают решающее влияние на состояние организма человека. Наибольшей проникающей способностью обладают красные лучи видимого спектра и короткие инфракрасные лучи с длиной волны до 1,5 мкм, глубоко проникающие в ткани и мало поглощаемые поверхностью кожи. Лучи с длиной волны около 3 мкм вызывают нагрев поверхности кожи.

Допустимая интенсивность теплового облучения на рабочих местах от производственных источников (материалов, изделий и др.), нагретых до температуры свечения, не должна превышать значений, указанных в таблице 4.1.

**Таблица 4.1.**

**Допустимая интенсивность теплового облучения поверхности тела работающего**

<i>Облучаемая поверхность тела, %</i>	<i>Интенсивность теплового облучения, Вт/м<sup>2</sup></i>
50 и более	35
От 25 до 50	70
Не более 25	100

Допустимая интенсивность теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Интенсивность облучения в горячих цехах намного превышает переносимую организмом. Так, интенсивность облучения на рабочих местах в мартеновских

и электросталеплавильных цехах достигает  $13,9 \text{ кВт/м}^2$ , в конверторных –  $10,4 \text{ кВт/м}^2$ , в доменных –  $14,6 \text{ кВт/м}^2$ .

Интенсивность облучения,  $\text{Вт/м}^2$ , можно приближенно определить по формуле:

$$q = 3,26 \frac{F}{l^2} [(0,01T)^4 - 110],$$

или

$$q = 3,26 \frac{\sqrt{F}}{l} [(0,01T)^4 - 110],$$

где  $F$  – площадь излучающей поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $l$  – расстояние от центра излучающей поверхности до облучаемого объекта, м;  $T$  – температура излучающей поверхности, К: на наружных поверхностях 773 К, на внутренних – 1473 К, у расплавленного алюминия – 933 К, у расплавленной стали – 1673... 1803 К, у пламени – 2073 К, у пламени дуговых печей и сварочных аппаратов – более 2273 К.

Первая формула служит для определения интенсивности облучения при  $l > F$  (по абсолютным значениям), а вторая – при  $l < F$ .

## 5. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА И ВИБРАЦИИ

При проектировании нового или модернизации существующего технологического оборудования необходимо предусматривать обоснованные соответствующими расчетами мероприятия по снижению шума до нормируемых параметров и допустимых величин. Нормируемыми параметрами шума являются уровни среднеквадратичных звуковых давлений  $L$ , дБ, в октавных полосах со среднеквадратичными частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц :

$$L = 20 \lg \frac{P}{2 \cdot 10^{-4}}, \quad (5.1)$$

где  $2 \cdot 10^{-5}$  – пороговая величина среднеквадратичного звукового давления, Па;

$P$  – создаваемое среднеквадратичное звуковое давление, Па.

Например, при  $P = 20 \text{ Па}$   $L = 20 \lg 20 / 2 \cdot 10^{-5} = 20 \cdot 6 = 120 \text{ дБ}$ .

Исходными данными для акустического расчета являются:

- план и разрез помещения с расположением технологического и инженерного оборудования и расчетных точек;

- сведения о характеристиках ограждающих конструкций помещения (материал, толщина, плотность и др.);
- шумовые характеристики и геометрические размеры источников шума.

Расчетные точки в производственных и вспомогательных помещениях промышленных предприятий выбирают на рабочих местах и (или) в зонах постоянного пребывания людей на высоте 1,5 м от пола. В помещении с одним источником шума или с несколькими однотипными источниками одна расчетная точка берется на рабочем месте в зоне прямого звука источника, другая — в зоне отраженного звука на месте постоянного пребывания людей, не связанных непосредственно с работой данного источника.

Шумовые характеристики технологического и инженерного оборудования должны указываться заводом-изготовителем в технической документации. Для ориентировочной оценки шума допускается пользоваться эквивалентным уровнем, измеренным по шкале А шумомера (*табл. 32,33 приложения*) и графиком норм.

В *табл. 32,33 приложения* приведены допустимые уровни звукового давления для широкополосного шума, т. е. с непрерывным спектром шириной более одной октавы. Для тонального и импульсного шума допустимые уровни звукового давления должны приниматься на 5 дБ меньше значений, приведенных *табл. 32 приложения*.

При отсутствии экспериментальных данных уровни звукового давления можно принять по *табл. 34 приложения*.

При выборе средств защиты от шума следует отдавать предпочтение уменьшению шума в источнике возникновения. Поскольку чаще всего используется стандартное оборудование с шумами механического происхождения, то снижение шума возможно, в основном, за счет установки звукоизолирующего кожуха. Если установка кожуха невозможна или нецелесообразна, то следует применять шумопоглощающие экраны. Если эффективность экрана недостаточна или его невозможно установить без нарушения технологического процесса, то следует применять акустическую отделку помещений. При значительном превышении допустимого уровня шума возможно одновременное использование нескольких или всех средств защиты. Если эти меры недостаточны, то необходимо использовать индивидуальные средства защиты обслуживающего персонала.

Исходными данными для оценки необходимости защиты людей от шума и проведения соответствующих расчетов являются спектр шума, измеренный на рабочем месте, шумность выполняемых работ и размеры производственного помещения.

Расчет средств защиты ведется таким образом, чтобы их эффективность  $\Delta L_z$  была больше или равна значению  $\Delta L_i$  для каждой из частот.

## 5.1. МЕТОДЫ АКУСТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫБОРА И НАЗНАЧЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С ШУМОМ

### 5.1.1. Расчет суммарного уровня шума

Среднее значение уровня звукового давления вычисляется по формуле

$$\bar{L} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} - 10 \lg n, \quad (5.2)$$

где  $L_i$  — 1-й из усредняемых уровней звукового давления, дБ;

$i$  — 1, 2, ..., n;

$10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$  — суммарный уровень звукового давления дБ, определяемый в

соответствии с *таблицей 5.1.*

**Таблица 5.1.**

Разность двух складываемых уровней звукового давления	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка к более высокому уровню звукового давления	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

По таблице производится последовательное сложение уровней, начиная с максимального, в следующем порядке.

1. Определяют разность двух складываемых уровней.
2. По установленной разнице по таблице определяют добавку к более высокому уровню.
3. Производят сложение полученной добавки и большего из складываемых уровней.
4. Аналогичные действия производят с полученной суммой двух уровней и третьим уровнем и т. д.

Если разность между наибольшим и наименьшим уровнями не превышает 7 дБ, то среднее значение уровня  $\bar{L}$  приближенно равно среднему арифметическому значению всех уровней, вычисляемому по формуле

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (5.3)$$

### 5.1.2. Суммарный уровень шума от $n$ одинаковых источников в равноудаленной от них точке, дБ:

$$L = L_1 + 10 \lg n, \quad (5.4)$$

где  $L_1$  – уровень шума одного источника, дБ;

$n$  – число источников шума;  $10 \lg n$  – добавочная величина к уровню шума одного источника. Ниже приведены значения  $10 \lg n$ :

Число источников шума $n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	100
Добавочная величина к уровню шума одного источника $10 \lg n$ , дБ	0	3	5	6	7	8	9	10	13	20

### 5.1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТНЫХ ТОЧКАХ

Октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в расчетных точках соразмерных помещений (с отношением наибольшего геометрического размера к наименьшему не более 5) при работе одного источника шума следует определять по формуле

$$L = L_w + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{\Omega r^2} + \frac{4}{kB} \right), \quad (5.5)$$

где  $L_w$  — октавный уровень звуковой мощности, дБ;

$\chi$  — коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояние  $r$  меньше удвоенного максимального габарита источника ( $r < 2l_{\text{макс}}$ ) (принимают по *таблице 5.2.*);

$\Phi$  — фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением  $\Phi = 1$ );

$\Omega$  — пространственный угол излучения источника, рад. (принимают по *таблице 5.3.*);

$r$  — расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м (если точное положение акустического центра неизвестно, он принимается совпадающим с геометрическим центром);

$k$  — коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении (принимают по *таблице 5.4.* в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$ );

$B$  — акустическая постоянная помещения,  $\text{м}^2$ , определяемая по формуле

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}, \quad (5.6)$$

$A$  — эквивалентная площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ , определяемая по формуле

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^m A_j n_j, \quad (5.7)$$

$\alpha_i$  — коэффициент звукопоглощения  $i$ -й поверхности (табл. 5.6., 5.7. и табл. 35 приложения);

$S_i$  — площадь  $i$ -й поверхности, м<sup>2</sup>;

$A_j$  — эквивалентная площадь звукопоглощения  $j$ -го штучного поглотителя, м<sup>2</sup>;

$n_j$  — количество  $j$ -ых штучных поглотителей, шт.;

$\alpha_{cp}$  — средний коэффициент звукопоглощения, определяемый по формуле

$$\alpha_{cp} = \frac{A}{S_{огр}}, \quad (5.8)$$

$S$  — суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м<sup>2</sup>.

**Таблица 5.2.**

$r/l_{\max}$	$\chi$	$10 \lg \chi$ , дБ
0,6	3	5
0,8	2,5	4
1,0	2	3
1,2	1,6	2
1,5	1,25	1
2	1	0

**Таблица 5.3.**

Условия излучения	$\Omega$ , рад.	$10 \lg \Omega$ , дБ
В пространство — источник на колонне в помещении, на мачте, трубе	$4\pi$	11
В полупространство — источник на полу, на земле, на стене	$2\pi$	8
В 1/4 пространства — источник в двухгранном углу (на полу близко от одной стены)	$\pi$	5
В 1/8 пространства — источник в трехгранном углу (на полу близко от двух стен)	$\pi/2$	2

**Таблица 5.4.**

$\alpha_{cp}$	$k$	$10 \lg k$ , дБ
0,2	1,25	1
0,4	1,6	2

0,5	2,0	3
0,6	2,5	4

Граничный радиус  $r_{zp}$ , м, в помещении с одним источником шума — расстояние от акустического центра источника, на котором плотность энергии прямого звука равна плотности энергии отраженного звука, определяют по формуле

$$r_{zp} = \sqrt{\frac{B}{4\Omega}} \quad (5.9)$$

Если источник расположен на полу помещения, граничный радиус определяют по формуле

$$r_{zp} = \sqrt{\frac{B}{8\pi}} = \sqrt{\frac{B}{25,12}}. \quad (5.10)$$

Расчетные точки на расстоянии до  $0,5r_{zp}$  можно считать находящимися в зоне действия прямого звука. В этом случае октавные уровни звукового давления следует определять по формуле

$$L = L_w + 10\lg \Phi + 10\lg \chi - 20\lg r - 10\lg \Omega. \quad (5.11)$$

Расчетные точки на расстоянии более  $2r_{zp}$  можно считать находящимися в зоне действия отраженного звука. В этом случае октавные уровни звукового давления следует определять по формуле

$$L = L_w - 10\lg B - 10\lg k + 6. \quad (5.12)$$

Октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в расчетных точках соразмерного помещения с несколькими источниками шума следует определять по формуле

$$L = 10\lg \left( \sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1L_{wi}} \chi_i \Phi_i}{\Omega r_i^2} + \frac{4}{kB} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} \right), \quad (5.13)$$

где  $L_{wi}$  — октавный уровень звуковой мощности  $i$ -го источника, дБ;

$\chi_i$ ,  $\Phi_i$ ,  $r_i$  — то же, что и в формулах (5.5) и (5.10), но для  $i$ -го источника;

$m$  — число источников шума, ближайших к расчетной точке (находящихся на расстоянии  $r_i \leq 5r_{мин}$ , где  $r_{мин}$  — расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего источника шума);

$n$  — общее число источников шума в помещении;

$k$  и  $B$  — то же, что и в формулах (5.5) и (5.12).

Если все  $n$  источников имеют одинаковую звуковую мощность  $L_{wj}$ , то

$$10\lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} = L_{wi} + 10\lg n. \quad (5.14)$$

## 5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ШУМА

Требуемое снижение уровней шума  $\Delta L_{mp}$ , дБ, в октавных полосах частот или в



уровнях звука, дБА, следует определять для каждой расчетной точки,

Требуемое снижение октавных уровней звукового давления  $\Delta L_{mp}$ , дБ, или уровня звука  $\Delta L_{Amp}$ , дБА, в расчетной точке в помещении следует определять:

а) при одном источнике шума — по формуле

$$\Delta L_{mp} = L - L_{\text{доп}}, \quad (5.15)$$

где  $L$  — октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука от этого источника шума, дБА, рассчитанный в расчетной точке;

$L_{\text{доп}}$  — допустимый октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА

б) при нескольких однотипных одновременно работающих источниках шума (например, сборочный цех) — по формуле

$$\Delta L_{mp, \text{сум}} = L_{\text{сум}} - L_{\text{доп}}, \quad (5.16)$$

где  $L_{\text{сум}}$  — октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука в расчетной точке, дБА, рассчитанные по формулам (5.13) и (5.14);

$L_{\text{доп}}$  — то же, что и в формуле (5.15);

в) при нескольких одновременно работающих и расположенных группами источниках шума, сильно различающихся по уровням звуковой мощности (более 10 дБ):

- в расчетной точке в центре наиболее шумной группы — по формуле (5.16), где  $L_{\text{сум}}$  — октавные уровни звукового давления или уровни звука, рассчитанные по формуле (5.13);  $L_{\text{доп}}$  — допустимый октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА;

- в расчетной точке в центре групп более тихих источников шума — по формуле (5.16);

г) в помещениях без источников шума по формуле

$$\Delta L_{mp, i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n, \quad (5.17)$$

где  $L_i$  — октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА, рассчитанные отдельно от каждого внешнего источника шума по 7.8;

$n$  — общее число внешних источников шума;

$L_{\text{доп}}$  — допустимый октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА.

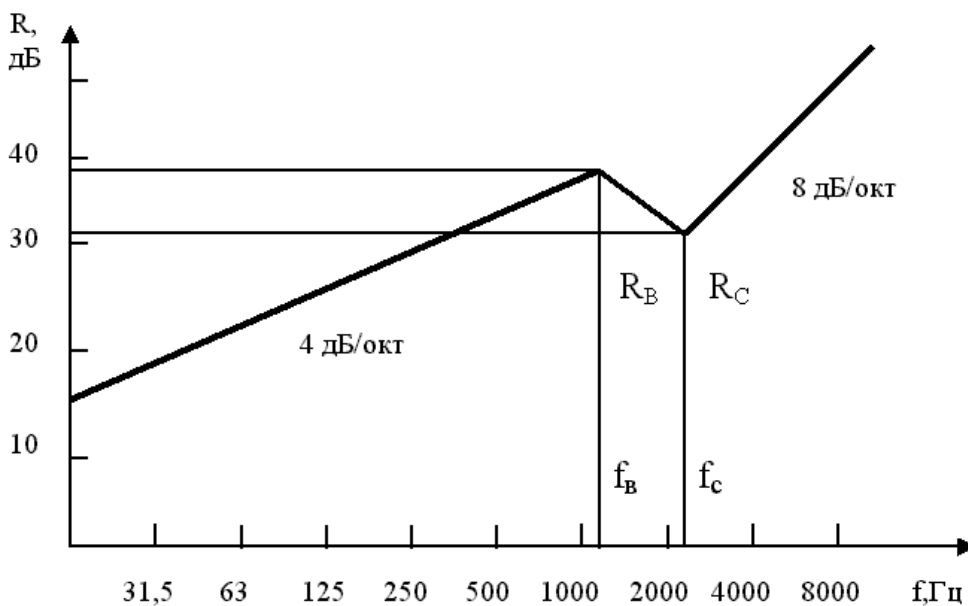
На территориях, а также в помещениях, где установлены источники с сильно различающимися уровнями звуковой мощности, заглушение шума следует начинать с наиболее шумных источников. Коэффициент звукопоглощения воздуха дан в таблице 36 приложения.

Требуемую звукоизоляцию внутренних ограждающих конструкций в производственных зданиях, а также ограждающих конструкций, отделяющих защищаемые от шума помещения от помещений с источниками шума,

нехарактерными для помещений, перечисленных в *таблице 37* приложения, следует определять в виде изоляции воздушного шума  $R_{mp}$ , дБ, в октавных полосах частот нормируемого диапазона.

### 5.2.1. Звукоизоляция ограждающими конструкциями

Ограждающими конструкциями могут являться стены зданий (жилых и производственных), отдельно стоящих кабин оперативного персонала, кожухи, закрывающие шумное оборудование. Подобные конструкции обеспечивают звукоизоляцию воздушного шума, т.е. ослабляют падающую на них звуковую волну. При расчетах звукоизоляции воздушного шума можно определить для каждой стандартной полосы частот (рассчитать спектр звукоизоляции воздушного шума) или – приблизительно – в дБА. Расчет спектра звукоизоляции чаще выполняют графоаналитическим методом.



**Рис. 5.1.**  
Частотная характеристика звукоизоляции конструкции из металла

Сущность метода заключается в построении частотной характеристики звукоизоляции конструкции. Вид частотной характеристики и ее параметры зависят от материала конструкции. Для конструкций из металла, стекла и т.п. вид частотной характеристики представлен на *рис. 5.1.*, а ее параметры определяются по данным *табл. 5.5.*

**Таблица 5.5**

**Параметры частотной характеристики для рис. 5.1**

Материал	$f_B$ , Гц	$f_C$ , Гц	$R_B$ , дБ	$R_C$ , дБ

Сталь	6000/h	12000/h	39	31
Алюминиевые сплавы	6000/h	12000/h	32	22
Стекло силикатное	6000/h	12000/h	35	29
Стекло органическое	17000/h	34000/h	37	30
Асбестоцементные листы	11000/h	22000/h	36	30
Сухая штукатурка	19000/h	38000/h	36	30

Пр и м е ч а н и е.  $h$  – толщина ограждения, мм

**Таблица 5.6**

**Коэффициент звукопоглощения стали  $\alpha_{\text{стали}}$**

$f$ , Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{\text{стали}}$	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11

**Таблица 5.7**

**Коэффициент звукопоглощения поролон  $\alpha_{\text{пор}}$**

$f$ , Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{\text{пор}}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1

Выбрав материал и толщину ограждающей конструкции, по данным *табл. 5.5* определяют параметры частотной характеристики  $f_B$  и  $f_C$ , Гц,  $R_B$  и  $R_C$ , дБ. Строят частотную характеристику в соответствии с *рис. 5.1* и по ней для каждой октавной полосы определяют звукоизоляцию воздушного шума данной конструкцией,  $R_f$ . Окончательно звукоизоляция конструкции  $R_{fок}$  определяется с учетом влияния отраженных звуковых волн по одному из следующих соотношений:

- при распространении звука снаружи в помещение (кабину) или при распространении звука из-под кожуха наружу

$$R_{fок} = R_f + 10 \lg(\sum \alpha_i \cdot S_i / \sum S_i), \text{ дБ}; \quad (5.18)$$

- при распространении звука в смежное помещение

$$R_{\text{фок}} = R_f + 10 \lg(B_n / S_k), \text{ дБ}, \quad (5.19)$$

где  $S_i$  – площадь поверхности, имеющей коэффициент звукопоглощения  $\alpha_i$ ;

$S_k$  – площадь конструкции через которую в смежное помещение поступает шум,  $\text{м}^2$ .

$B_n$  – постоянная изолируемого помещения, определяется по соотношениям (5.20) и (5.21):

$$B = \frac{\sum S_i \cdot \alpha_i}{1 - \alpha_{\text{ф}}}$$

$$\alpha_{\text{ф}} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

Если конструкция неоднородна, т.е. состоит из  $n$  элементов, площадью  $S_i$ ,  $\text{м}^2$ , имеющих звукоизоляцию  $R_{fi}$ , то эквивалентная звукоизоляция такой конструкции определяется по следующему соотношению:

$$R_{\text{фэк}} = 10 \lg \frac{1}{\sum \frac{S_i}{S_o} 10^{-0,1 \cdot R_i}}, \text{ дБ}, \quad (5.22)$$

где  $S_o = \sum S_i$ .

При ориентировочных расчетах звукоизоляцию конструкции можно определять по соотношениям:

- для ограждений из бетона, кирпича и т.п.

$$R = 22 \lg(m) - 12, \text{ дБА}; \quad (5.23)$$

- для ограждений из стали толщиной  $1 \div 10$  мм

$$R = 22 + 9 \lg h, \text{ дБА}; \quad (4.22) \quad (5.24)$$

- для ограждений из стекла толщиной  $2 \div 10$  мм

$$R=18+8,5 \cdot \lg h, \text{ дБА}; \quad (5.25)$$

- для ограждений из органического стекла толщиной  $5 \div 30$  мм

$$R=12+12 \lg h, \text{ дБА}, \quad (5.26)$$

где  $m$ —масса  $1 \text{ м}^2$  конструкции, кг;

$h$ —толщина конструкции, мм.

Учет неоднородности конструкции производится по соотношению (5.22). Звукоизолирующая способность преград указана в *таблице 37* приложения

### Порядок расчета

1. Определяется спектр уровней звукового давления ( $L$ ) на рабочем месте при отсутствии звукоизолирующего кожуха для всех октавных полос:

$$L = L_p + 10 \lg \Phi - 10 \lg \Omega - 20 \lg r \quad (5.27)$$

2. Определяют звукоизолирующую способность ( $R$ ) металлического кожуха графоаналитическим методом:

а) строят частотную характеристику изоляции воздушного шума ограждением из металла (*рис. 5.1*)

б) по графику определяют звукоизолирующую способность металлического кожуха  $R$  во всех октавных полосах:

3. Определяют звукоизолирующую способность металлического кожуха  $R_K$  с учетом звукопоглощения стали для всех октавных полос:

$$R_K = R + 10 \lg \alpha_{\text{стали}}. \quad (5.28)$$

4. Уровни звукового давления на рабочем месте с учетом звукоизолирующей способности металлического кожуха для всех октавных полос:

$$L_{\text{ст}} = L_i - R_K. \quad (5.29)$$

5. Определяют звукоизолирующую способность металлического кожуха  $R_K$ , внутренняя поверхность которого покрыта звукопоглощающим материалом (например поролоном) для каждой октавной полосы:

$$R_K = R + 10 \lg \alpha_{\text{пор}} \quad (5.30)$$

6. Определяют уровни звукового давления на рабочем месте с учетом звукоизолирующей способности металлического кожуха, внутренняя поверхность которого покрыта звукопоглощающим материалом. Расчет проводят для каждой октавной полосы

$$L_2 = L_i - R_{K2} \quad (5.31)$$

Данные вносят в таблицу:

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	4000	8000
L, дБ								
R, дБ								
$R_{K1}$ , дБ								
$L_{\text{СТ}}$ , дБ								
$R_{K2}$								
$L_{\text{пог}}$ , дБ								

*Сравнение результатов в табл. показывает, насколько возрастает эффективность звукоизоляции кожуха при покрытии его внутренней поверхности звукопоглощающим материалом.*

### 5.2.2. Расчет звукопоглощающих облицовок

В гигиенической практике под шумом понимают любой мешающий звук. Звук называют колебания частиц упругой среды, частоты которых лежат в области восприятия человеческим слухом. Эта область приблизительно ограничена пределами от 20 до 20000 Гц.

Шум, распространяющийся по воздуху, может оказывать вредное влияние на людей. Особенно подвержены воздействию шума рабочие строительных специальностей. Превышение предельно допустимого уровня шума на рабочих

местах является основанием отнесения условий труда к вредному или опасному классу.

Для существенного снижения шума на пути его распространения устраивают звукоизолирующие преграды в виде стен, перегородок, перекрытий, специальных звукоизолирующих кожухов и экранов.

Облицовка внутренних поверхностей производственных помещений звукопоглощающими материалами обеспечивает значительное снижение шума. Звукопоглощение некоторых штучных звукопоглотителей указана в *таблице 38* приложения.

Звукопоглощающие облицовки размещают на потолке и верхних частях стен. Максимальное звукопоглощение достигается при облицовке не менее 60% общей площади ограждающих поверхностей помещения.

При проведении расчетов, связанных с снижением шума на рабочих местах, используется ряд акустических характеристик помещения: постоянная помещения  $B$  (*табл. 5.8.*); эквивалентная площадь звукопоглощения  $A$ ; средний коэффициент звукопоглощения  $\alpha$ .

Постоянную помещения  $B$  акустически необработанного помещения определяют по формуле:

$$B = B_{1000} \cdot \mu_{1000}, \quad (5.32)$$

где  $B_{1000}$  – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, м<sup>2</sup>.

Определяется по *табл. 5.8.* в зависимости от объема помещения  $V$ , м<sup>3</sup>;

$\mu_{1000}$  – частотный множитель, определяемый по *табл. 39* приложения для частоты 1000 Гц.

При известной постоянной помещения  $B$  для каждой октавной полосы можно вычислить эквивалентную площадь звукопоглощения, м<sup>2</sup>

$$A = \frac{B}{\frac{B}{S} + 1}, \quad (5.33)$$

где  $S$  – общая суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м<sup>2</sup>.

**Таблица 5.8.**  
**Значения постоянной помещения  $B_{1000}$**

Характеристика помещения	$B_{1000}, \text{м}^2$
С небольшим количеством людей (цеха заводов ЭБИ, металлообработки, вентиляционной камеры и т. д.)	$\frac{V}{20}$
С жесткой мебелью и большим числом людей или с небольшим числом людей и мягкой мебелью (лаборатории, ткацкие, деревообрабатывающие цеха, кабинеты и т. д.)	$\frac{V}{10}$
С большим числом людей и мягкой мебелью (комнаты управлений, залы ресторанов, магазинов, вокзалов, игральные залы, жилые помещения)	$\frac{V}{6}$
Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	$\frac{V}{1,5}$

Зона отраженного звука определяется величиной предельного радиуса  $r_{\text{пр}}$ , т. е. расстоянием от источника шума, на котором уровень звукового давления отраженного звука равен уровню звукового давления прямого звука, излучаемого данным источником.

Если в помещении находится несколько одинаковых источников шума, предельный радиус может быть определен по формуле,

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{\frac{B_{8000}}{n}}, \quad (5.34)$$

где  $B_{8000}$  – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 8000 Гц,  $\text{м}^2$

$$B_{8000} = B_{1000} \cdot \mu_{8000}; \quad (5.35)$$

$n$  – число одинаковых источников шума;

$\mu_{8000}$  – частотный множитель, определяемый по табл. 39 приложения для частоты 8000 Гц.

Максимальное снижение уровня звукового давления  $\Delta L$  в каждой октавной



полосе при применении звукопоглощающих покрытий в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука, определяется по формуле, дБ

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \left( \frac{B'}{B} \right), \quad (5.36)$$

где  $B'$  – постоянная помещения после установки в нем звукопоглощающих конструкций, м<sup>2</sup>.

Постоянная помещения  $B'$  в акустически обработанном помещении определяется по зависимости, м<sup>2</sup>

$$B' = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_1}, \quad (5.37)$$

где  $A_1$  – эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой, м<sup>2</sup>

$$A_1 = \alpha(S - S_{\text{обл}}); \quad (5.38)$$

$\alpha_1$  – средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения

$$\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S}; \quad (5.39)$$

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

$$\alpha = \frac{B}{B + S}; \quad (5.40)$$

$S$  – общая суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м<sup>2</sup>;

$\Delta A$  – величина суммарного добавочного поглощения, вносимого

конструкцией звукопоглощающей облицовки или штучными поглотителями, м<sup>2</sup>

$$\Delta A = \alpha_{\text{ОБЛ}} \cdot S_{\text{ОБЛ}} + A_{\text{ЭП}} \cdot n_{\text{П}}; \quad (5.41)$$

$\alpha_{\text{ОБЛ}}$  – реверберационный коэффициент звукопоглощения конструкции облицовки;

$S_{\text{ОБЛ}}$  – площадь облицованных поверхностей, м<sup>2</sup>;

$A_{\text{ЭП}}$  – эквивалентная площадь звукопоглощения одного штучного звукопоглотителя, м<sup>2</sup>;

$n_{\text{П}}$  – число штучных поглотителей.

### 5.2.3. Экранирование источников шума

Если между источником шума (ИШ) и рабочим местом расположить преграду, обладающую бесконечно большой звукоизоляцией, размеры которой больше длины звуковой волны, то за ней образуется акустическая тень. Однако часть волн, огибая края преграды, попадет в область тени. Снижение уровня звукового давления такой бесконечно длинной преградой (экраном) рассчитывается по законам дифракции по формуле:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 20 \lg \left[ \frac{\sqrt{2\pi N}}{\text{th}(2\pi N)} \right] + 5, \text{ дБ}; \quad (5.42)$$

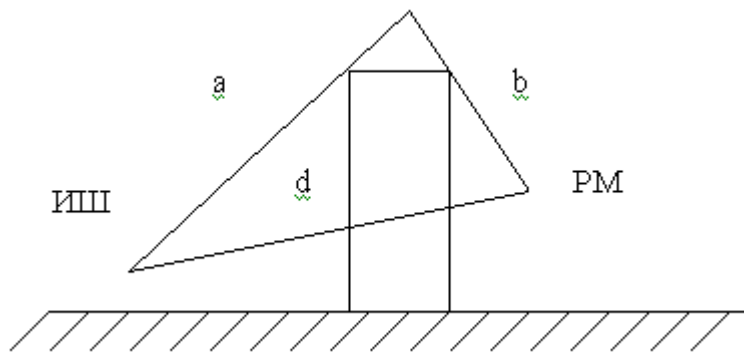
$$N = 2 \cdot \delta / \lambda; \quad (5.43)$$

$$\delta = a + b - d, \quad (5.44)$$

где  $N$  – число Френеля;

$a, b, d$  – определяются по *рис. 5.2.*, м;

$\lambda$  – длина звуковой волны, м.



**Рис. 5.2. К определению чисел Френеля**

Если экран расположен так, что  $a+b=d$ , то  $\Delta L_{\text{экp}}=0$ . Если экран имеет конечные размеры, то шум огибает его со всех сторон и тогда снижение уровня звукового давления таким экраном определяется по соотношению [ 4.1] :

$$\Delta L_{\text{э.кон}} = -10 \lg \left( 10^{-0,1 \Delta L_{\text{э1}}} + 10^{-0,1 \Delta L_{\text{э2}}} + 10^{-0,1 \Delta L_{\text{э3}}} \right), \text{ дБ}, \quad (5.45)$$

где  $\Delta L_{\text{эi}}$  – рассчитывается по соотношениям (5.42)÷ (5.44) для случаев огибания экрана со всех сторон по рисункам, аналогичным рис. 5.2. Следует подчеркнуть, что все построения на рис. 5.2. выполняют в масштабе.

*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.*

#### **5.2.4. Снижение шума оборудования**

При конструировании оборудования следует устранять причины, порождающие шум оборудования. Например:

устранять консольное (одностороннее) расположение колес, шестерен и других вращающихся частей, предусматривая вторую опору;

подшипники качения заменять подшипниками скольжения;

отказываться от редукторных и плоскоременных передач со сшивными ремнями, а возвратно-поступательное движение рабочих органов и деталей заменять вращательным;

уменьшать допуск между сочленяющимися деталями оборудования и интенсивность вибрации деталей с большими поверхностями (крышек, корпусов

и т. д.);

применять пластмассовые бесшумные детали.

Для снижения шума рекомендуется прижимать резиновые или войлочные диски к боковым поверхностям шестерен шайбами или болтами.

Для уменьшения аэродинамического шума, возникающего при движении газовых потоков с большими скоростями, переходы в местах изменения направления трубопровода должны иметь угол раскрытия  $8\text{—}12^\circ$ , обычные краны на агрегатах с открытым выхлопом воздушных струй в помещение должны быть заменены кранами типа Лудло, установлены глушители на выхлопе газовых потоков.

Целесообразно использовать глушители из пористых материалов (прессованные металлокерамические, синтетические на основе полиэтилена с добавками асбестового волокна, стекловолокна и т. д.). Поглощение звуковой энергии происходит при прохождении воздуха через поры материала. Применяются также сетчатые глушители.

Аэродинамический шум можно снизить, правильно выбирая окружную скорость вентиляторов и электродвигателя в системах вентиляции.

По условиям относительной бесшумности окружные скорости вентиляторов в производственных помещениях с малым шумом должны быть не более  $34\text{—}45$  м/с; в помещениях с большим шумом, в которых уровень не нормируется, —  $40\text{—}55$  м/с. Кроме того, для снижения шума целесообразно запроектировать на участке всасывающего канала облицовку стекловолокном с плотностью до  $25$  кг/м<sup>3</sup> и установку трубчатого глушителя. Последний при длине 1 м снизит уровень шума до 15 дБ в диапазоне частот 63 – 8000 Гц. Некоторое снижение шума вентиляционных установок в помещении может быть достигнуто также нанесением вибропоглощающих покрытий на воздуховоды.

Шум от выбросов может быть снижен глушителями, набираемыми из нормализованных секций (цилиндрический корпус, в котором помещена перфорированная обечайка). В пространстве между корпусом и внутренней трубой помещают звукопоглощающий материал. Применение таких глушителей эффективно, если их диаметр не превышает  $600\text{—}800$  мм, а длина  $6\text{—}8$  м. При больших диаметрах внутри глушителей подвешиваются звукопоглотители в виде цилиндров диаметром около 200 мм и длиной 1 м из металлической сетки, заполненной мелкофракционным керамзитом.

#### **5.2.5. Выбор индивидуальных средств защиты от шума**

Для защиты от шума предусматривают также индивидуальные средства: внутренние противошумы (тампоны и вкладыши) и наружные (наушники).

При выборе индивидуальных противошумных приспособлений следует учесть, что применение тампонов и вкладышей в условиях сильного шума (особенно низко- и среднечастотного) малоэффективно, так как их плотное прилегание к ушному проходу вызывает болезненные ощущения, а слабое не обеспечивает необходимого ослабления шума. Более эффективны наушники. Они обладают большой звукоизолирующей способностью, однако эффективность защиты от шума зависит от плотности прилегания наушников к голове. Наиболее эффективны наушники с кольцевой эластичной трубкой, заполненной жидкостью. Такая конструкция обеспечивает равномерное давление по всей плоскости прилегания наушников к голове. Кроме того, наушники с жестким креплением позволяют изменить силу прижима, не снимая их с головы.

Эффективность индивидуальных средств защиты от шума приведена в *табл. 40* приложения.

### 5.3. ЗАЩИТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ

#### Нормирование вибраций

Так как местная и общая вибрации действуют на организм человека по-разному, для них устанавливают и различные нормы предельно допустимых вибраций.

Нормируемыми параметрами общей вибрации на предприятиях являются среднеквадратические значения колебательной скорости в октавных полосах частот или амплитуды перемещений, возбуждаемые машинами и станками (кроме самоходных машин, находящихся в движении) и передаваемые на рабочие места (пол, рабочие площадки, сиденья). Если продолжительность воздействия вибрации менее 4 ч в течение рабочего дня, допустимые величины вибрации увеличиваются в 1,4 раза (на 3 дБ), менее 2 ч – в 2 раза (на 6 дБ), менее 1 ч – в 3 раза (на 9 дБ).

Предельно допустимые уровни местной вибрации установлены ГОСТ 17770–72 (*табл. 41* приложения).

Предельно допустимые уровни общей вибрации установлены СН 245—71 для постоянных рабочих мест (*табл. 42* приложения).

#### Проектирование виброизолирующего основания

Для снижения шума, распространяющегося по строительным конструкциям здания в соседние помещения (структурного шума), рекомендуется устанавливать агрегаты на вибро-и звукоизолирующих основаниях. Жесткое

крепление агрегатов непосредственно к строительным конструкциям недопустимо. Проектировать виброизолирующее основание под оборудование следует по типовым чертежам, например альбом ГПИ Сантех-проекта серии ОВ-02-128 «Виброизолирующие основания под вентиляторы».

При правильном устройстве фундаментов под машинами устраняется влияние вибраций механизмов на участках их установки и ближайших к ним.

Для защиты грунта от колебаний, передаваемых через фундаменты, между грунтом и вибрирующим фундаментом по его периметру оставляют разрыв. Последний имеет воздушный промежуток или заполняется материалами с малым акустическим сопротивлением; битуминизированным войлоком, пакетами из рубероида или толя на клебе-массе, строительным мусором, шлаком и пр.

Для уменьшения влияния вибраций конструктивные элементы здания не следует связывать с фундаментами машин. Мощные двигатели необходимо устанавливать на отдельных фундаментах, удаленных от стен не менее чем на 1 м, с виброизоляцией.

При углублении фундамента машины относительно фундамента здания передача вибраций и сотрясений практически не уменьшается.

Вентиляторы с электродвигателями устанавливают на фундаментную плиту или раму из уголкового стали, под которые подведены резинометаллические или пружинные амортизаторы.

Для центробежных насосов с электродвигателями применяют общую фундаментную плиту достаточно больших размеров. Опорами для плиты в зависимости от массы, частоты вращения двигателя и собственной частоты колебаний грунта (основания) служат различные амортизаторы.

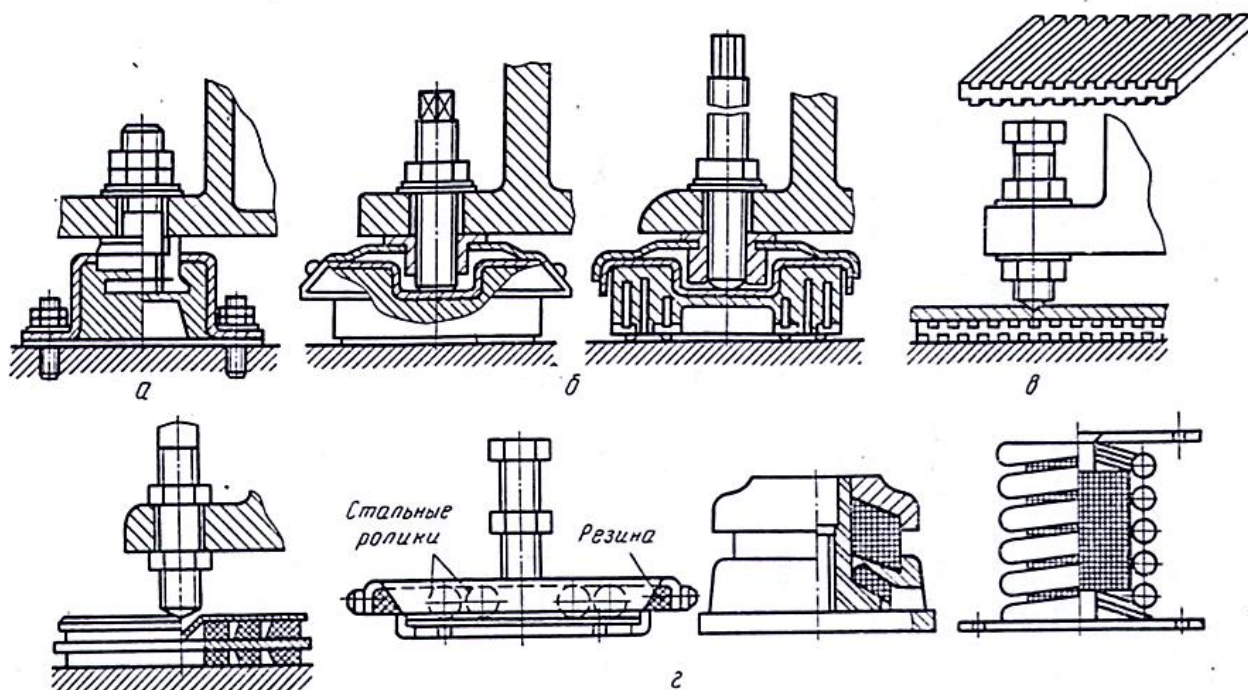
При установке машины центр тяжести переносят на линию центра тяжести общей площадки упругих опор для создания равномерной нагрузки. При конструировании новых приборов с большой вибрацией увеличивают коэффициент их безопасности, равный отношению амплитуды вибрации прибора к предельно допустимой амплитуде.

На предприятиях применяют прокладки на основе резины и войлока. В ЦНИИмашдеталь разработаны антивибрационные прокладки из полимерных материалов с присасывающимися ячейками диаметром 15 мм. Это позволяет прикреплять их к станку и полу без болтов — с помощью клея или путем заливки битумом.

Применяют также прокладки в виде ковриков с присасывающимися ячейками из поливинилхлоридных смол, усиленных стекловолокном. Их используют для установки ткацких станков, прядильных, крутильных, мотальных и вязальных машин.

Для защиты от вибраций применяют амортизаторы: серийно выпускаемые резинометаллические (рис. 5.3.), войлочные, пружинные и т. д.

Амортизаторы (рис. 5.3, а) рассчитаны на нагрузку от 60 до 6500 Н, их жесткость в пределах 50—6800 Н. Амортизаторы (рис. 5.3, б) обеспечивают частоту собственных колебаний 14,8 Гц в диапазоне нагрузок 250—4000 Н. Коврики (рис. 5.3, в) устанавливают как под железобетонные фундаменты, так и под лапы машин. Применяют также амортизаторы, показанные на рис. 5.3, г.



**Рис. 5.3. Резинометаллические амортизаторы**

Ниже приведена частота собственных колебаний упругих элементов:

Упругие элементы	Частота собственных колебаний, Гц
Фетр, пробка, прорезиненная парусина, пластмассы, армированные волокнистые материалы, свинцово-асбестовые прокладки	20
Резина, работающая на сжатие; проволочная сетка объемного плетения, толстые фетровые и пробковые прокладки	20 – 10
Резина, работающая на сдвиг; проволочная сетка объемного плетения	10 – 15
Спиральные и листовые пружины,	5

### 5.3.1. Выбор вибропоглощающего покрытия

Необходимый материал с учетом рабочего диапазона температур и частотного диапазона эффективной работы вибропоглощающего покрытия может быть выбран по *табл. 43* приложения.

Наибольшее распространение получили мастики типа ВД–17–63, рекомендуемые для нанесения на корпуса вентиляторов, воздухопроводы и кожухи и др. При этом шум снижается примерно на 5–8 дБ.

Данные о составе мастик ВД приведены в *табл. 44* приложения. Демпфирующие свойства мастик улучшаются, если их применять в слоистых конструкциях, т. е. чередуя слои мастики с таким материалом, как, например, фольга.

Мастику наносят слоями толщиной не более 2 мм. Каждый слой армируют стеклохолстом ВВ. После отверждения первого слоя наносят следующий слой. Общая толщина покрытия должна составлять две толщины покрываемого металла.

### 5.3.2. Выбор виброизоляционных вставок

На предприятиях в производственных помещениях имеется большое количество трубопроводов, которые соединены с механизмами. В большинстве случаев трубопроводы подвешены к ограждающим и несущим конструкциям. Для виброизоляции трубопроводов целесообразно разместить виброизолирующий элемент непосредственно у источника между фланцами механизма и трубопровода. В качестве виброизолирующего элемента в трубопроводах предусматривают гибкие вставки, которые выполняются из резиновых, резинотканевых патрубков и рукавов, а при больших давлениях — из резинометаллических патрубков, рассчитанных на требуемое давление и имеющих длину не менее 700–900 мм. Толщина резины должна быть такой, чтобы масса единицы поверхности ее была не меньше массы единицы поверхности воздухопровода (чтобы не снижать его звукоизоляцию), а прочность достаточна для восприятия внутреннего давления (разрежения) без существенной деформации. Применяемые на практике вставки из брезента ухудшают звукоизоляцию воздухопровода и образуют часто «гармошку», загораживающую воздухопровод, что увеличивает аэродинамический шум вследствие деформации потока.

### 5.3.3. Расчет амортизационных устройств



Частота собственных колебаний, Гц:

$$f_c = \frac{5}{\sqrt{X_{ст}}} \quad (5.46)$$

где  $f_{ст}$  – статическая осадка упругой прокладки, см;

$$X_{ст} = \frac{G}{K}, \quad (5.47)$$

где  $G$  – сила тяжести машины, Н;

$K$  – жесткость амортизатора, Н/см.

Статическую осадку амортизирующей прокладки можно принять равной 10% ее толщины.

Необходимая площадь прокладок из резины, см<sup>2</sup>:

$$F = \frac{Q}{\sigma}, \quad (5.48)$$

где  $Q$  – сила тяжести конструкции, Н;

$\sigma$  – расчетное статическое напряжение в резине (300– 500 кПа).

Числом прокладок  $n$  задаются и определяют площадь каждой из них, см<sup>2</sup>:

$$F_1 = \frac{F}{n} \quad (5.49)$$

Сторона прокладки  $b = \sqrt{F_1}$  (при квадратной прокладке).

Если окажется, что толщина прокладки  $\delta > 1,2b$ , то соответственно изменяют число прокладок или выбирают резину другого сорта и повторяют расчет.

## РАСЧЕТ ПРУЖИННЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Сначала определяют расчетную частоту вращения  $n_p$  и требуемую эффективность виброизоляции  $\Delta L_T$  (табл. 45 приложения).

Далее находят расчетную частоту возбуждающей силы, Гц,

$$f_b = n_y/60, \quad (5.50)$$

где  $n_y$  – частота вращения частей установки, мин<sup>-1</sup>.

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

Отношение  $S$  расчетной частоты возбуждающей силы  $f_b$  к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний  $f_{од}$  виброизолированной установки принимают в зависимости от требуемой

эффективности виброизоляции  $\Delta L$  из следующих значений:

$\Delta L, \text{дБ}$	5	7,5	10	15	20	25	30	35
$C=f_v/f_{од}$	1,65	1,8	2	2,6	3,3	4,2	5,4	7

По выбранному значению параметра  $C$  определяют предельно допустимую частоту, Гц:

$$f_{од}=f_v/C \quad (5.51)$$

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

$$m_t \geq 2,5 \varepsilon m_v / A_d, \quad (5.52)$$

где  $\varepsilon$  – эксцентриситет вращающихся частей, мм;  $m_v$  – масса вращающихся с частотой  $n_y$  частей установки, кг;  $A_d$  – максимально допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки, мм.

Если величины  $\varepsilon$  и  $A_d$  неизвестны, то, например, для вентиляционной установки можно приближенно принять  $\varepsilon_d = 0,2 \dots 0,4$  мм при динамической балансировке и  $\varepsilon_c = 1 \dots 1,5$  мм при статической балансировке. Максимально допустимую амплитуду смещения  $A_d$  центра тяжести установки принимают из следующих значений:

Частота вращения $n_y$	300	400	500	600	700	900	1200	1500	3000
$A_d$ , мм	0,2	0,18	0,16	0,145	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04

Далее вычисляют суммарную массу, кг, установки с рамой:

$$m_0 = m_y + m_p, \quad (5.53)$$

где  $m_y$  — масса установки, кг;  $m_p$  — масса рамы, кг.

При этом должно соблюдаться условие:  $m_0 > m_t$ .

Если суммарная масса установки  $m_0$  (например, вентилятора с электродвигателем и рамой) меньше требуемой массы  $m_t$ , то необходимо увеличить ее, частично или полностью заполнив внутренний объем рамы железобетоном или смонтировав установку на общей железобетонной плите.

Определяют статическую  $P_c$  и расчетную максимальную  $P_{p \max}$

нагрузки на одну пружину, Н:

$$P_c = \frac{9,81m_0}{n_{\text{в}}x}; \quad (5.54)$$

$$P_{\text{р max}} = P_c + \frac{\pi^2 f_{\text{в}}^2 A_{\text{д}} P_c}{1635} = P_c + 0,006 f_{\text{в}}^2 A_{\text{д}} P_c, \quad (5.55)$$

где  $n_{\text{в}}$  — число виброизоляторов;  $x$  — число пружин в одном виброisolаторе.

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

$$\sum K_{\text{в}} = 4\pi^2 f_{\text{в}}^2 m_0 = 39,48 f_{\text{в}}^2 m_0 \quad (5.56)$$

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

$$K_{\text{тр}} = \frac{\sum K_{\text{в}}}{n_{\text{в}}x} \quad (5.57)$$

Марку применяемых в виброизоляторах опорных пружин выбирают с соблюдением условий:  $P_{\text{т max}} = P_{\text{р max}}$ ;  $K_{\text{т}} \leq K_{\text{тр}}$ ,

где  $P_{\text{т max}}$  — максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н (табл. 46 приложения.);  $K_{\text{т}}$  — жесткость пружин в продольном направлении, Н/м (табл. 46 приложения.).

## РАСЧЕТ РЕЗИНОВЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Начало расчета резиновых виброизоляторов аналогично расчету пружинных виброизоляторов. После определения массы установки вычисляют площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{в}} = 9,81m_0/\sigma, \quad (5.58)$$

где  $m_0$  - общая масса установки, кг;  $\sigma$  — расчетное статическое напряжение в резине: для мягкой резины  $(1...3) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, для резины с большей твердостью  $(3,1...5) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

Рабочую высоту, м, каждого виброизолятора находят по выражению:

$$H_{\text{р}} = \frac{EF_{\text{в}}}{\sum K_{\text{в}}}, \quad (5.59)$$

где  $E$  - динамический модуль упругости резины, Па;  $\sum K_{\text{в}}$  - требуемая

суммарная жесткость виброизоляторов :

$$\sum K_{\epsilon} = 4\pi^2 f_{\text{од}}^2 m_0 = 39,48 f_{\text{од}}^2 m_0 \quad (5.60)$$

Модуль упругости резины можно выбрать в зависимости от ее твердости по Шору:

<i>Твердость резины(по Шору)</i>	30	35	40	45	50	55	60	65	70
<i>Динамический модуль упругости <math>E \cdot 10^5, \text{Па}</math></i>	15	20	30	40	50	60	71	85	100

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

$$F_1 = F_{\text{в}} / n_{\text{в}}, \quad (5.61)$$

где  $n_{\text{в}}$  — число виброизоляторов.

Далее для виброизолятора призматической формы находят сторону квадрата, м:

$$B = \sqrt{F_1} \quad , \quad (5.62)$$

а для виброизолятора цилиндрической формы — диаметр, м:

$$D = \sqrt{4F_1 / \pi} \quad (5.63)$$

Для обеспечения устойчивости виброизоляции необходимо, чтобы соблюдалось условие  $1,5H_{\text{р}} < B < 8H_{\text{р}}$ , или  $1,5H_{\text{р}} < D < 8H_{\text{р}}$ . Если это условие не выполняется, необходимо или взять резину другой твердости, или принять другое число изоляторов, или увеличить площадь их поперечного сечения, или выбрать пружинные виброизоляторы.

Полную высоту, м, виброизолятора определяют по формуле:

$$H = H_{\text{р}} + 0,125B, \quad (5.64)$$

или

$$H = H_{\text{р}} + 0,125D \quad (5.65)$$

После уточнения размеров виброизоляторов следует проверить обеспечиваемую эффективность виброизоляции, Дба:

$$\Delta L_y = 20 \lg \left( \frac{f_{\epsilon}^2}{f_0^2} - 1 \right), \quad (5.66)$$

где  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum K_{\epsilon,y}}{m_{o,y}}}$  — уточненная частота собственных вертикальных колебаний, Гц;

$\sum K_{\epsilon,y} = \frac{EF_{\epsilon,y}}{H_p}$  — уточненная общая жесткость всех виброизоляторов, Н/м;

$F_{\epsilon,y}$  - уточненная площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, м<sup>2</sup>;

$m_{o,y}$  — уточненная масса виброизолированной установки, кг. Если общая масса установки  $m_0 > m_t$ , то  $m_{o,y} = m_0$ .

Полученное значение  $\Delta L_y$  должно быть близко к выбранному  $\Delta L$  или меньше его.

#### 5. 3. 4. Расчет плавающего пола

На предприятиях текстильной промышленности источниками вибрации пола являются автоматические ткацкие станки, при жестком креплении которых вибрация передается на перекрытия, создавая дополнительные динамические нагрузки на них и шум в смежных помещениях вследствие вибрации строительных конструкций.

Для ослабления вибрации от ударов, передающихся на перекрытие, проектируют плавающий пол, т. е. сплошной упругий слой между несущей частью перекрытия и частью пола, подвергающегося непосредственным ударным воздействиям. Акустическая развязка пола и несущей части перекрытия создает быстрое затухание энергии удара.

Плавающий пол создан в одном из цехов Калининского хлопчатобумажного комбината, расположенного на втором этаже. Здание представляет собой железобетонный сборный каркас из стекложелезобетонных панелей, а также с кладкой из силикатного кирпича. Перекрытия – сборные, железобетонные; сетка колонн – 6х8 м. Плавающий пол состоит из слоя минеральной ваты толщиной 80 мм, уложенной по перекрытию над первым этажом, асбоцементных листов, гидроизоляции и железобетонной монолитной плиты толщиной 70 мм. По периметру цеха, у стен и вокруг колонн сделан акустический шов шириной 60 мм, заполненный мягким асфальтом. Данные об эффективности плавающего пола при передаче вибраций на строительные конструкции приведены в табл. 5.12.

**Т а б л и ц а 5.12.**

Строительные конструкции, на которые передается вибрация с плавающего пола	Эффективность плавающего пола, дБ, (снижение вибраций), при средней частоте октавн. полос, Гц						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Колонна	17	24	15	11	10	18	20
Стена	3	3	2	3	5	9	15
Плиты перекрытий	5	4	7	8	6	29	24

Частотный спектр шума на рабочих местах в первом этаже корпуса от оборудования, работающего на втором этаже, не превышает норм.

Снижение ударного шума плавающим полом, дБ:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{f}{f_0} + 10 \lg \frac{q_1}{q_c} - 3, \quad (5.67)$$

где  $q_1, q_c$  – масса 1 м<sup>2</sup> соответственно плиты пола на упругом основании и упругого слоя, кг;

$f$  – частота, Гц;

$f_0$  – частота собственных колебаний плавающего пола с установленным на нем оборудованием, Гц:

$$f_0 = 500 \sqrt{\frac{K}{10q_1}}, \quad (5.68)$$

где  $K$  – приведенный коэффициент жесткости упругого слоя, Н/см<sup>3</sup>:

$$K = \frac{E}{d}, \quad d = d_0 \left( 1 - \frac{\sigma}{E_{CT}} \right) \quad (5.69)$$

где  $E$  и  $E_{CT}$  – динамический и статический модули упругой прокладки для мат минеральных, прошитых в бумаге, минераловатных на синтетической связке, из стеклянной ваты, простеганных ( $E = 300 \dots 880$  кПа,  $E_{CT} = 15, \dots, 30$  кПа);  $d_0$  – толщина упругого слоя в несжатом состоянии (10–15 см);  $\sigma$  – фактические нормальные напряжения в прокладке от полезной нагрузки (10–40 кПа).

## 6. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара

являются следствием прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует разность потенциалов. Опасность такого прикосновения во многом зависит от особенностей электрической сети и схемы включения в нее человека. Определив в каждом конкретном случае силу проходящего через человека тока  $I_q$ , можно выбрать соответствующие защитные меры. Опасность поражения человека электрическим током определяют, сравнивая полученное значение  $I_q$  со значениями, приведенными в *таблице 47* приложения.

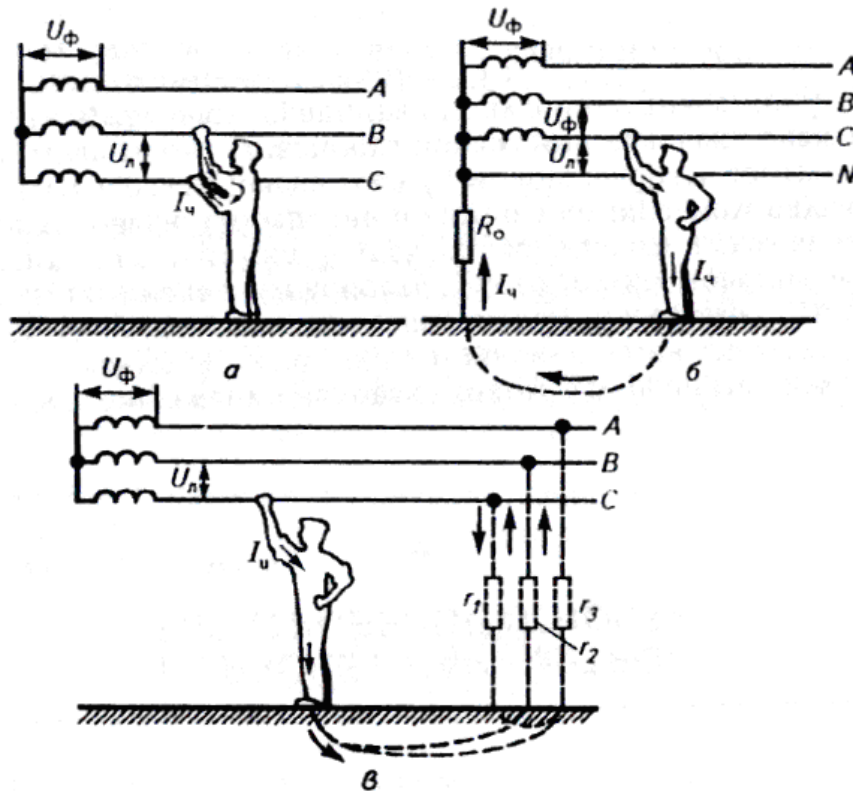
Пользуясь приведенными в таблице данными, следует помнить, что допустимой считается сила тока, при которой человек может без посторонней помощи освободиться от проводников.

**Двухфазное включение** человека в цепь тока (*рис.6.1, а*) более опасно по сравнению с однофазным, так как к телу прикладывается наибольшее в данной сети напряжение — линейное. При этом сила тока, А, проходящего через человека,

$$I_q = \frac{U_{\text{л}}}{R_q} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ф}}}{R_q},$$

где  $U_{\text{л}}$  — линейное напряжение, В;  $U_{\text{ф}}$  — фазное напряжение, В;  $R_q$  — сопротивление тела человека, Ом.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) в расчетах принимают  $R_q = 1000$  Ом.



**Рис. 6.1. Схема возможного включения человека в сеть трёхфазного тока:**

*а – двухфазное прикосновение; б – однофазное прикосновение в сети с заземлённой нейтралью; в – однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью*

**Однофазное включение** возникает во много раз чаще, но опасность поражения в этом случае ниже по сравнению с двухфазным включением.

*В однофазной двухпроводной сети, изолированной от земли, ток, проходящий через человека при равенстве сопротивления изоляции проводов относительно земли:  $r_1 = r_2 = r$ , определяют по формуле*

$$I_{\text{ч}} = U / (2R_{\text{ч}} + r),$$

где  $U$  — напряжение сети, В.

*В трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью (рис. 6.1, в) при  $r_1 = r_2 = r_3 = r$  ток проходит от места контакта через тело человека, обувь, пол и несовершенную изоляцию к другим фазам. Силу тока находят из выражения:*



$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_o + r/3},$$

где  $R_o$  - общее сопротивление, Ом:  $R_o = R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}$ ;  $R_{\text{об}}$  - сопротивление обуви: для резиновой обуви  $R_{\text{об}} > 50000$  Ом;  $R_{\text{п}}$  — сопротивление пола: для сухого деревянного пола  $R_{\text{п}} = 60\,000$  Ом;  $r$  — сопротивление изоляции проводов: согласно ПУЭ должно быть не менее 0,5 МОм на фазу участка сети напряжением до 1000 В.

В расчетах можно принимать удельное электрическое сопротивление паркета из сухого бука равным  $2,1 \cdot 10^{10}$  Ом · м, из березы  $8,8 \cdot 10$  Ом · м, из дуба —  $7 \cdot 10^{11}$  Ом · м; древеснослоистого пластика (ДСП) -  $10^9$  Ом · м, резины -  $3,6 \cdot 10^{12} \dots 2,4 \cdot 10^{13}$ , полиэтилена —  $10^{15}$  Ом · м и т. д.

В трехфазных четырехпроводных сетях ток проходит через человека, его обувь, пол, заземление нейтрали источника и нулевой провод (рис. 6.1, б). При этом сила тока, проходящего через человека,

$$I_{\text{ч}} = U_{\phi} / (R_o + R_{\text{н}}),$$

где  $R_{\text{н}}$  — сопротивление заземления нейтрали источника тока, которое должно быть не более 8 Ом при напряжении 220/127 В, 4 Ом при напряжении 380/220 В, 2 Ом при напряжении 660/380 В.

**Напряжение прикосновения** возникает на теле человека при касании им находящихся под напряжением электроустановок или металлических частей оборудования (рис. 6.2).

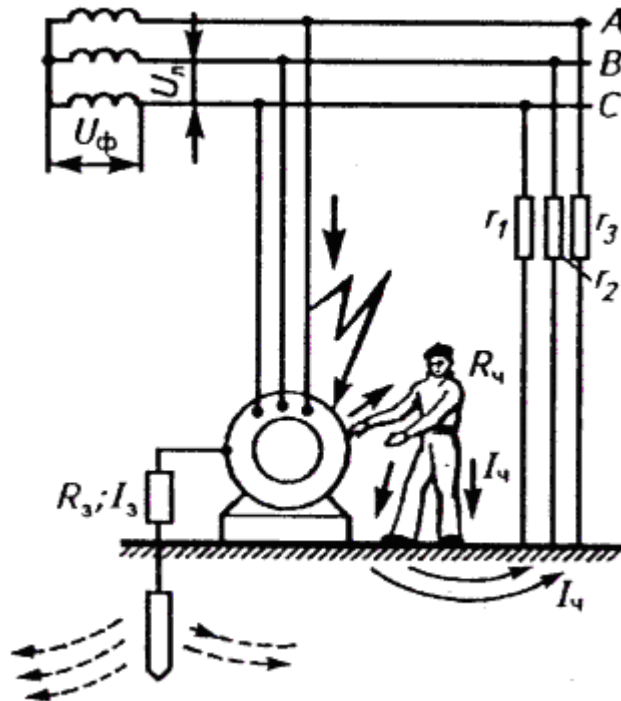
При стекании электрического тока через стержневой заземлитель круглого сечения длиной  $l$  и диаметром  $d$ , погруженный в землю так, что его верхний конец расположен на уровне земли, напряжение прикосновения, В,

$$U_{\text{пр}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{4l}{d} - \ln \frac{l + \sqrt{x^2 + l^2}}{x} \right) \alpha,$$

где  $I_3$  — ток замыкания на землю, А;  $\rho$  — удельное сопротивление основания (грунта, пола и т. д.), на котором находится человек, Омм;  $x$  — расстояние от человека до центра заземлителя, м;  $\alpha$  — коэффициент напряжения прикосновения.

Коэффициент напряжения прикосновения

$$\alpha = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + K_{\text{н}}} = \frac{R_{\text{ч}}}{R_o}.$$



**Рис. 6.2. Схема возникновения напряжения прикосновения**

Пренебрегая сопротивлением обуви (когда она мокрая или при ее отсутствии), можно записать:

если ступни ног удалены одна от другой на расстоянии шага

$$\alpha = 1 / (1 + 1,5\rho / R_{\text{ч}});$$

если ступни ног находятся рядом

$$\alpha = 1 / (1 + 2\rho / R_{\text{ч}}).$$

**Шаговое напряжение**  $U_{\text{ш}}$  — это напряжение между двумя точками на земле, обусловленное растеканием тока замыкания, при одновременном касании их ногами человека (рис. 6.3).

Если одна нога находится на расстоянии  $x$  от центра заземлителя, то другая нога находится на расстоянии  $x+a$ , где  $a$  — длина шага. Обычно в расчетах принимают  $a = 0,8$  м.

Шаговое напряжение, В, определяют по формуле

$$U_{\text{ш}} = \frac{I_3 \rho a}{2\pi x(x+a)}.$$

Допустимым считают шаговое напряжение не более 40 В.

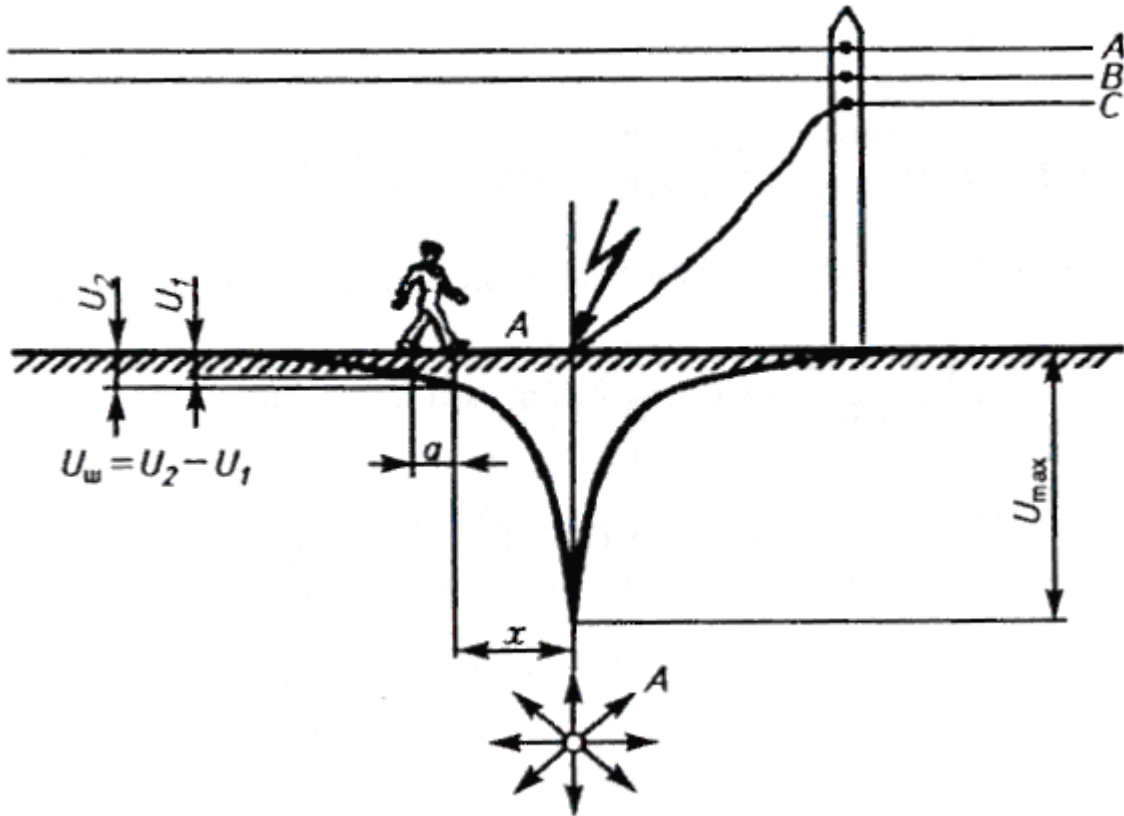


Рис. 6.3. Схема возникновения шагового напряжения

## 6.1. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Исходя из характеристики защищаемого объекта выбрать вид защиты (*табл. 48 приложения*) и установить допускаемое сопротивление растеканию тока заземляющих устройств  $R_{з.д}$  (*табл. 49 приложения*). Выбрать материал для заземлителей (например: труба диаметром 40 мм, с толщиной стенки не менее 3,5 мм; материал — Ст. 5).

По *таблице 50 приложения* выбрать приближенное значение удельного сопротивления грунта  $\rho_{гр}$ .

Удельное сопротивление двухслойного грунта при использовании вертикальных стержневых заземлителей или установленных на ребро пластинчатых заземлителей, Ом · м:

$$\rho_{гр} = \frac{l}{\Delta l_г / \rho_г + \Delta l_н / \rho_н},$$

где  $l$  — длина заземлителя, м;  $\Delta l_г$ ,  $\Delta l_н$  — длина частей заземлителя, находящихся

соответственно в верхнем и нижнем слоях грунта, м;  $\rho_v, \rho_n$  — удельные сопротивления соответственно верхнего и нижнего слоев грунта, Ом · м.

По *таблице 51* приложения определить значение повышающего коэффициента  $K_n$ , который учитывает изменения сопротивления грунта в зависимости от климатических зон РФ. Характеристика климатических зон приведена в *таблице 52* приложения.

Расчетное значение удельного Сопротивления грунта, Ом · м:

$$\rho_p = \rho_{tr} K_n$$

Расчетное сопротивление растеканию электрического тока одиночного заземлителя (стержня или трубы), заглубленного в землю, верхний конец которого находится на поверхности земли (*рис. 6.4, а*), Ом,

$$R_{з,р} = 0,366 \frac{\rho_p}{l} \lg \frac{4l}{d},$$

где  $l$  — длина заземлителя, м;  $d$  — диаметр заземлителя, м.

Для стержней или труб, верхний конец которых заглублен в землю (*рис. 6.4, б*), сопротивление заземления, Ом,

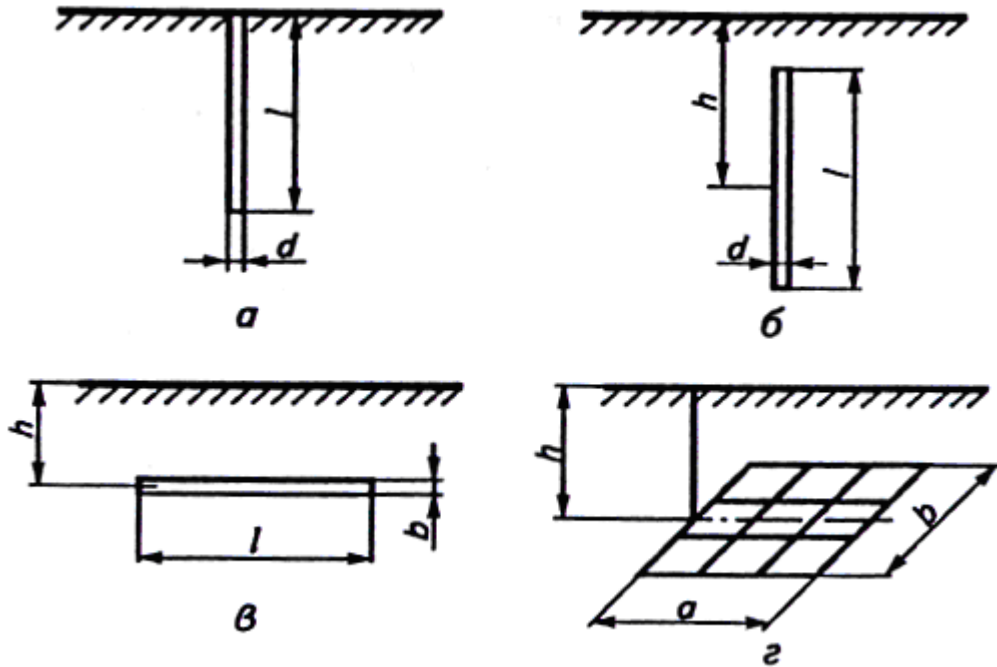
$$R_{з,р} = 0,366 \frac{\rho_p}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \frac{4h+1}{4h-1} \right).$$

где  $h$  — расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м.

Для горизонтально расположенной в земле на расстоянии  $h$  (как правило,  $h > 0,8$  м) от ее поверхности полосы (*рис. 6.4, в*) сопротивление заземления, Ом,

$$R_{з,р} = 0,366 \frac{\rho_p}{l} \lg \frac{2l^2}{bh},$$

где  $l$  — длина полосы, м;  $b$  — ширина полосы, м.



**Рис. 6.4. Схема заземлителей:**

*а – стержневого вертикального круглого сечения у поверхности земли; б – стержневого круглого сечения, вертикально заглубленного в землю; в – вертикальной полосы, заглубленного в землю; г – металлической сетки, заглубленного в землю*

Для горизонтально расположенной металлической сетки, заглубленной в землю на величину  $h$  (рис 6.4, г), сопротивление заземления, Ом,

$$R = 0,444 \frac{\rho_p}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_p}{L} = 0,444 \frac{\rho_p}{\sqrt{ab}} + \frac{\rho_p}{n_1 a + n_2 b},$$

где  $S$  — площадь заземлителя,  $\text{м}^2$ ;  $L$  — длина расположенных в грунте проводников заземлителя, включая длину идущего к заземляемому оборудованию вертикального проводника, м;  $a, b$  — длина проводников сетки, уложенных соответственно по длине и ширине, м;  $n_1, n_2$  — число рядов проводников сетки соответственно по длине и ширине.

Для снижения влияния климатических условий на сопротивление заземления принимают расстояние от поверхности земли до сетки  $h \geq 0,5 \dots 0,8$  м.

Число одиночных заземлителей (труб, стержней или полос)

$$n_3 = R_{3, \text{п}} / R_{3, \text{д}}.$$

Из таблицы 53 приложения по числу заземлителей  $n_3$  выбрать значение

отношения расстояния. Между заземлителями  $L_T$  к их длине  $l$  и значение коэффициента экранирования  $\eta_э$ . Из отношения  $L_T/l_T = m$  определить расстояние между заземлителями, м,

$$L_T = ml_T.$$

Число заземлителей с учетом коэффициента экранирования  $\eta_э$

$$n_{тр} = \frac{R_{э.р}}{R_{э.о}\eta_э}.$$

Полученное значение  $n_{тр}$  округляют до ближайшего большего числа.

Выполнить схему заземляющего устройства с указанием размеров отдельных заземлителей и расстояний между ними в плане.

### 6.3. РАСЧЕТ ЗАНУЛЕНИЯ

Для быстрого автоматического отключения участка сети с зануленными корпусами электроприемников или арматурой железобетонных опор при проектировании следует соблюсти условие, чтобы расчетный ток однофазного короткого замыкания  $I_{к.з}$  в конце данного участка не менее чем в 3 раза превышал номинальный ток плавкой вставки  $I_{п.в}$  защищающего его предохранителя или номинальный ток расцепителя автомата у автомата с зависимой от тока характеристикой

$$I_{п.в} \leq I_{к.з} / 3.$$

Во взрывоопасных помещениях или взрывоопасных наружных электроустановках для предохранителей необходимо выполнить условие

$$I_{п.в} \leq I_{к.з} / 4.$$

Для автоматов с зависимой характеристикой номинальный ток расцепителя

$$I_p \leq I_{к.з} / 6.$$

Для автоматического включателя, имеющего расцепитель с независимой характеристикой, при номинальном токе автомата до 100 А ток срабатывания расцепителя

$$I_{п.н0} \leq I_{к.з} / 1,4,$$

а при номинальном токе более 100 А

$$I_{п.н1} \leq I_{к.з} / 1,25.$$

Ток короткого замыкания для проверки указанных выше соотношений

$$I_{к.з} = U_{\phi} / (Z_{\pi} + Z_T),$$

где  $U_{\phi}$  — фазное номинальное напряжение (обычно 220 В);  $Z_{\pi}$  — полное сопротивление петли фаза = ноль, Ом;  $Z_T$  — сопротивление фазы трансформатора току однофазного короткого замыкания, Ом.

Полное сопротивление петли фаза = ноль определяют по формуле:

$$Z_{\pi} = \sum l \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_n)^2},$$

где  $l$  — длина участка линии, м;  $R_{\phi}, R_n$  — удельные активные сопротивления соответственно фазного и нулевого проводников, Ом/м, которые принимают по *таблице 6.2.* или рассчитывают по формуле:

$$R = \rho / S$$

$\rho$  — удельное электрическое сопротивление: для меди  $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, алюминия  $\rho = 2,9 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, для проводниковой стали  $\rho = 10^{-7}$  Ом·м, для ;  $S$  — площадь сечения проводника, м<sup>2</sup>;  $X_{\phi}, X_n$  — удельные внутренние индуктивные сопротивления соответственно фазного и нулевого проводников, Ом/м (если проводники выполнены из цветных металлов  $X_{\phi}$  и  $X_n$  можно считать равными нулю, в остальных случаях на воздушных линиях: при номинальном напряжении  $U_n \leq 1$  кВ  $X_{\phi} \approx X_n \approx 0,3 \cdot 10^{-3}$  Ом/м, при  $U_n = 6$  кВ или  $U_n = 10$  кВ  $X_{\phi} \approx X_n \approx 0,4 \cdot 10^{-3}$  Ом/м);  $X_n$  — удельное внешнее индуктивное сопротивление петли проводников фаза-ноль: для воздушных линий ориентировочно  $0,6 \cdot 10^{-3}$  Ом/м; для проводки на изоляторах внутри помещений  $0,5 \cdot 10^{-3}$  Ом/м; для проводки на роликах  $0,4 \cdot 10^{-3}$  Ом/м; для проводки в трубах  $0,15 \cdot 10^{-3}$  Ом/м.

**Таблица 6.2.**

**Удельное активное сопротивление фазных и нулевых проводников**

Марка провода	$R_{\phi}, (R_n),$ Ом/м	Марка провода	$R_{\phi}, (R_n),$ Ом/м
M10	$1,88 \cdot 10^{-3}$	A35	$1,88 \cdot 10^{-3}$
M16	$1,27 \cdot 10^{-3}$	ПС05	$1,2 \cdot 10^{-3}$
M25	$1,84 \cdot 10^{-3}$	ПС25	$0,67 \cdot 10^{-3}$
A16	$2 \cdot 10^{-3}$	ПС35	$0,54 \cdot 10^{-3}$
A25	$1,34 \cdot 10^{-3}$	ПС50	$0,39 \cdot 10^{-3}$

Соп  
ротивл

ение фазы трансформатора току однофазного короткого замыкания, Ом, при вторичном номинальном напряжении трансформатора 400/230 В можно приближенно рассчитать по формуле:

$$Z_T = K_T / S_n,$$

где  $K_T = 26$  при схеме трансформатора звезда-звезда с нулем и номинальным

первичном напряжении  $U_{н1}=6...35$  кВ,  $K_T = 7,5$  при схеме звезда-зигзаг с нулем и  $U_{н1} = 6... 10$  кВ и  $K_T = 10$  при той же схеме и  $U_{н1} = 20...35$  кВ. При вторичном номинальном напряжении 230/130 В все значения уменьшают в 3 раза;  $S_H$  — номинальная мощность трансформатора, кВт.

Если разные участки линии выполнены проводниками неодинаковых марок, то  $Z_{\Pi}$  вычисляют для каждого участка отдельно, а затем находят их арифметическую сумму.

При расчете тока предохранителей для электродвигателей должны соблюдаться соотношения:

в случае применения электропривода с легкими условиями пуска:

$$I_{п.в} = I_{\Pi}/2,5,$$

для электроприводов с тяжелыми условиями пуска:

$$I_{п.в} = \frac{I_n}{1,6...2}.$$

Пусковой ток электродвигателя:

$$I_{\Pi} = \frac{1000kP_{эд}}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi \eta_{эд}},$$

где  $k$  — коэффициент кратности пускового тока: для трехфазных асинхронных электродвигателей  $k = 4...7$ ;  $P_{эд}$ —мощность электродвигателя, кВт;  $U_n$  — номинальное напряжение, на которое включен электродвигатель, В;  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности (табл. 54 приложения);  $\eta_{эд}$ — КПД электродвигателя (указан в его паспорте).

Плавкие вставки подбирают по стандартной шкале для номинального тока: 0,25; 0,5; 1, 2, 6, 4, 10, 15, 20, 25, 35, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 260, 300, 350, 430, 500, 600, 700, 850 и 1000 А.

## 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

### 7.1. Методика оценки взрывопожароопасности производства

По взрывопожарной и пожарной опасности производственные помещения и здания подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д.\* Определение

---

\* Приводятся по Нормам государственной противопожарной службы МВД России



категорий производится путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от высшей (А) к низшей (Д) для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода с учетом вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также особенностей технологических процессов.

Здание относится к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в нем превышает 5 % площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений этой категории не превышает в здании 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены два условия - здание не относится к категории А и суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % суммарной площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории В, если одновременно выполнены два условия - здание не относится к категориям А или Б и суммарная площадь помещений категорий А, Б и В превышает 5 % (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б и В в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены два условия - здание не относится к категориям А, Б или В и суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г превышает 5 % суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>) и помещения категорий А, Б, В оборудуются установками пожаротушения.

Здание относится к категории Д, если оно не относится к категориям А, Б, В

или Г.

Пожароопасные свойства применяемых веществ и материалов устанавливаются по результатам испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния (давления, температуры и т.д.) или на основании справочных данных. При этом допускается использование показателей пожарной опасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

## 7.2. Первичные средства пожаротушения

В соответствии с типовыми правилами пожарной безопасности промышленных предприятий все производственные, складские, вспомогательные и административные здания должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения, используемыми для локализации и ликвидации небольших загораний, а также пожаров в их начальной стадии развития.

Количество и вид первичных средств пожаротушения назначается в зависимости от физико-химических и пожароопасных свойств применяемых горючих веществ, их отношения к огнегасительным веществам, а также площади производственного помещения. При этом необходимое количество первичных средств пожаротушения задается отдельно для каждого помещения.

Помещения, оборудованные автоматическими стационарными установками пожаротушения, обеспечиваются первичными средствами в количестве 50% от расчетного. Отдельные пожароопасные производственные установки (окрасочные камеры, закалочные ванны, установки для мойки и обезжиривания деталей, сушильные камеры и т.п.) оборудуются не менее чем двумя огнетушителями.

Для размещения первичных средств пожаротушения в производственных зданиях и на территориях промышленных предприятий, как правило, должны устанавливаться специальные пожарные щиты с набором, включающим в себя: пенных огнетушителей - 2, углекислотных огнетушителей - 1, ящиков с песком - 1, кусков плотного полотна (асбест, войлок) - 1, ломов - 2, багров - 3, топоров - 2. Пожарные щиты устанавливаются на видных и легкодоступных местах, по возможности, ближе к выходам из помещений. Территории предприятий обеспечиваются пожарными щитами из расчета - один щит на площадь до 5000 м<sup>2</sup>.

В начальной стадии пожара очаг загорания обычно тушат огнетушителями.

При выборе типа огнетушителя необходимо иметь в виду, что:

- химические пенные огнетушители предназначены для тушения загораний любых веществ и материалов за исключением щелочных металлов и веществ, горящих без доступа воздуха, а также электрооборудования, находящегося под

напряжением; пена образуется внутри огнетушителя в результате реакции между двумя составами - щелочным (на основе NaOH) залитым в стальной корпус огнетушителя, и кислотным (на основе  $H_2SO_4$ ), залитым в полиэтиленовый стакан, помещенный в верхней части корпуса;

- воздушно-пенные огнетушители предназначены для тушения загораний любых веществ и материалов за исключением щелочных металлов и веществ, горящих без доступа воздуха, а также электрооборудования, находящегося под напряжением; воздушно-механическая пена образуется при прохождении 5-6-процентного водного раствора поверхностно-активного вещества, вытесняемого из корпуса через распылитель под действием давления рабочего газа;

- порошковые огнетушители предназначены для тушения загораний легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, щелочноземельных металлов, электроустановок, находящихся под напряжением, а также пожаров на объектах с большими материальными ценностями (лаборатории, музеи, картинные галереи и т.п.); огнетушащими веществами являются карбонаты щелочных металлов, которые вытесняются из корпуса огнетушителя избыточным давлением рабочего газа, хранящегося во вспомогательном баллоне, или за счет давления, постоянно поддерживаемого в корпусе;

- углекислотные огнетушители предназначены для тушения загораний любых веществ и материалов (кроме веществ, которые могут гореть без доступа воздуха), а также для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В; огнетушащим средством является углекислота (двуокись углерода), которая находится в огнетушителе в жидкой фазе и превращается в смесь из газовой и твердой (в виде снега) фаз при вытекании из корпуса через насадок в виде диффузора;

- хладоновые огнетушители предназначены для тушения небольших очагов загорания различных веществ, тлеющих материалов (хлопка, изоляционных материалов), а также электроустановок, находящихся под напряжением не более 380 В; огнетушащим средством являются вещества на основе галоидированных углеводородов (бромистый этил, хладон и др.), образующих при выпуске из корпуса через насадок струю, состоящую из мелкодисперсных капель.

Твердую (снегообразную) углекислоту применяют для тушения огня на воздухе. Испаряясь, она охлаждает горящий объект и снижает содержание кислорода в зоне горения.

### **7. 3. РАСЧЕТ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ И ВЫХОДОВ**

Предельно допустимая длина эвакуационного участка, м,

$$L_{\text{пр}} = vT$$

где  $v$  — скорость движения людей при вынужденной эвакуации: при движении по горизонтальным участкам  $v = 16$  м/мин, по лестнице вверх  $v_{\text{вв}} = 8$  м/мин, вниз  $v_{\text{вн}} = 10$  м/мин;  $T$  — допускаемое время эвакуации, мин: при эвакуации из зданий I и II степеней огнестойкости принимают  $T = 6$  мин, из зданий III и IV степеней огнестойкости  $T = 4$  мин, из зданий V степени огнестойкости  $T = 3$  мин; для детских учреждений время эвакуации уменьшают на 20 %.

Плотность размещения людей на площади эвакуационного участка, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>:

$$D = \sum_i^n N_i f_i / S,$$

где  $N_i$  — численность людей на участке;  $f_i$  — площадь горизонтальной проекции человека, м<sup>2</sup> (табл. 55 приложения);  $S$  — площадь участка эвакуации, м<sup>2</sup>.

Значение  $D$  должно быть не более 0,92 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Ширина эвакуационного участка, м,

$$B = N / (L_{\text{пр}} \delta),$$

где  $\delta$  — предельная плотность потока людей: для взрослых не более 10... 12 чел./м<sup>2</sup>, для детей — не более 20...25 чел./м<sup>2</sup>.

Значение предельной плотности потока людей можно определить по формуле

$$\delta = N / S$$

Ширину эвакуационных участков принимают с учетом ширины строительных элементов зданий и сооружений (табл. 56 приложения).

Число путей эвакуации

$$P_{\text{э}} = 0,6N / (100B)$$

Полученное значение округляют в большую сторону, но в любом случае  $P_{\text{э}}$  должно быть не менее двух.

#### 7.4. РАСЧЕТ ПОЖАРНОГО ЗАПАСА ВОДЫ

Требуемый запас воды на наружное пожаротушение, м<sup>3</sup>,

$$Q_{\text{в}} = 3,6g_{\text{в}} m T_{\text{п}} n_{\text{п}}$$

где  $g_{\text{в}}$  — удельный расход воды на наружное пожаротушение, л/с (табл. 57 приложения);  $T_{\text{п}}$  — расчетное время тушения одного пожара, ч: обычно принимают  $T_{\text{п}} = 3$  ч;  $n_{\text{п}}$  — число одновременно возможных пожаров при площади предприятия менее 1,5 км<sup>2</sup>  $n_{\text{п}} = 1$ , при площади 1,5 км<sup>2</sup> и более  $n_{\text{п}} = 2$ .

Объем воды, необходимый для внутреннего пожаротушения,  $\text{м}^3$ , рассчитывают в зависимости от производительности (расхода) струи и числа одновременно действующих струй:

$$Q_{\text{в}} = 3,6 g_{\text{в}} m T_{\text{п}} n_{\text{п}},$$

где  $g_{\text{в}}$  и  $m$  — соответственно расход воды на одну струю и число струй: для производственных зданий и гаражей высотой до 50 м  $g = 2,5$  л/с и  $m = 2$ ; для производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий высотой более 50 м  $g = 5$  л/с и  $m = 8$ .

Полная вместимость пожарного резервуара,  $\text{м}^3$ ,

$$W_{\text{п}} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{т}}$$

где  $Q_{\text{т}}$  — регулируемый запас воды для хозяйственно-технических нужд,  $\text{м}^3$ .

## 7.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В основу оценки взрывоопасности производственных помещений положен энергетический подход, заключающийся в оценке расчетного избыточного давления взрыва  $\Delta p$  и сравнении его с допустимым  $\Delta p_{\text{доп}}$ .

Давление во фронте ударной волны — один из наиболее опасных факторов взрыва, воздействующих на людей. Легкие поражения (звон в ушах, головная боль) наступают при избыточном давлении 20...40 кПа, средние (вывихи, повреждение органов слуха, носовое кровотечение) — при избыточном давлении 41...60 кПа, тяжелые (контузия, переломы костей, кровотечения из ушей и носа) при избыточном давлении 61...100 кПа. Если избыточное давление превышает 100 кПа, у людей наблюдаются разрывы внутренних органов, переломы костей, внутренние кровотечения, возможна длительная потеря сознания. При избыточном давлении более 1 МПа наблюдаются смертельные поражения человека от непосредственного действия ударной волны. Для сравнения: избыточное давление более 50 кПа ломает и вырывает с корнем деревья, стекло разрушается при избыточном давлении 1...7 кПа.

Значения избыточного давления, при которых возникают различные разрушения промышленных объектов, указаны в *таблице 58* приложения.

Слабые разрушения характеризуются разрушением окон, дверей, легких перегородок, повреждением крыши, наличием отдельных трещин в стенах верхних этажей, деформацией труб и их повреждением на стыках, повреждением электропроводки и т. п. После капитального ремонта здание может быть восстановлено.

При средней степени разрушений происходит разрушение внутренних перегородок, окон, дверей, крыш, повреждаются или разрушаются чердачные перекрытия, частично стены верхних этажей, возможны трещины в стенах. Наблюдаются отдельные разрывы и деформация трубопроводов, кабелей, повреждения станков. Подвалы сохраняются и могут быть использованы после расчистки завалов. Восстановление здания возможно после проведения капитально-восстановительного ремонта.

Сильные разрушения характеризуются разрушением части несущих элементов (стен и перекрытий всех этажей). Имеются массовые разрывы трубопроводов и кабелей. Использование зданий с такими разрушениями невозможно и нецелесообразно.

## 7.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА

Расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta p$  для горючих веществ, состоящих из атомов углерода (C), водорода (H), кислорода (O), хлора (Cl), брома (Br), иода (I), фтора (F)

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) \frac{mz}{V_{св} \rho C_{ст} k_n} \frac{100}{k_n}$$

где  $p_{\max}$  — максимальное давление взрыва стехиометрической газовойдушной или паровойдушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным (при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа);  $p_0$  — начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  $m$  — масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей, поступивших в результате аварии в помещение, кг;  $z$  — коэффициент участия горючего во взрыве; допускается принимать следующие значения коэффициента  $z$ :

горючие газы	0,5
легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
легковоспламеняющиеся и прочие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>, определяемый как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием, сырьем и материалами, м<sup>3</sup> (при невозможности расчета допускается принимать  $V_{св}$  условно равным 80 % геометрического объема помещения);  $\rho$  — плотность

пара или газа,  $\text{кг/м}^3$  [в расчетах при температуре  $0^\circ\text{C}$  можно принять следующие значения плотности: для водорода ( $\text{H}_2$ ) —  $0,09 \text{ кг/м}^3$ , паров аммиака ( $\text{NH}_3$ )  $0,64 \text{ кг/м}^3$ , паров метилового спирта ( $\text{CH}_4\text{O}$ )  $1,2 \text{ кг/м}^3$ , паров этилового спирта ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ )  $1,75 \text{ кг/м}^3$ , паров бензола ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )  $3,48 \text{ кг/м}^3$ , пропана ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )  $2,02 \text{ кг/м}^3$ , метана ( $\text{CH}_4$ )  $0,72 \text{ кг/м}^3$ , ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )  $1,17 \text{ кг/м}^3$  и т.д.;  $k_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (допускается принимать  $k_n = 3$ ).

Стехиометрическую концентрацию ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ определяют по формуле

$$C_{\text{ст}} = 100 / (1 + 4,84\beta),$$

где  $\beta = n_c + 0,25(n_n - n_x) - 0,5n_o$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения;  $n_c$ ,  $n_n$ ,  $n_o$ ,  $n_x$  — число атомов соответственно углерода, водорода, кислорода и галогенов в молекуле горючего.

Избыточное давление взрыва отдельных веществ, а также их смесей

$$\Delta p = \frac{mH_{\text{т}}p_0z}{V_{\text{св}}\rho_{\text{в}}C_pT_0k_n},$$

где  $H_{\text{т}}$  — теплота сгорания,  $\text{Дж/кг}$ : для ацетилен  $H_{\text{т}} = 50,27 \text{ МДж/кг}$ ; для ацетона  $30,81$ ; для бензола  $42,36$ ; для бензина  $41...44$  (в зависимости от сорта); для водорода  $143,06$ ; для метана  $50$ ; пропана  $50,42$ ; для этилового спирта  $29 \text{ МДж/кг}$  и т. д.;  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;  $C_p$  — теплоемкость воздуха,  $\text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ : допускается принимать равной  $1010 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;  $T_0$  — начальная температура воздуха,  $\text{К}$ .

По последней указанной выше формуле подсчитывается и избыточное давление взрыва для пылевоздушных смесей. В этом случае коэффициент  $z$ , учитывающий долю участия взвешенной горючей пыли во взрыве, при отсутствии экспериментальных сведений принимают равным  $0,5$ . Расчетную массу  $m$  взвешенной в объеме помещения пыли определяют как сумму двух слагаемых:

$$m = m_{\text{ав}} + m_{\text{вз}},$$

где  $m_{\text{ав}}$  — масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации,  $\text{кг}$ ;  $m_{\text{вз}} = K_{\text{вз}}m_n$  — расчетная масса взвихрившейся пыли,  $\text{кг}$ ;  $K_{\text{вз}}$  — доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации: при отсутствии экспериментальных сведений допускается принимать  $K_{\text{вз}} = 0,9$ ;  $m_n$  — масса пыли, отложившейся в помещении к моменту аварии,  $\text{кг}$ .

Расчетное избыточное давление взрыва гибридных взрывоопасных смесей, содержащих газы (пары) и пыли,

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2,$$

где  $\Delta p_1, \Delta p_2$  — давления взрыва, вычисляемые соответственно для газа (пара) и пыли по изложенной выше методике.

### **7.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМОГО ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ**

**Определение взрывоустойчивости здания.** Вначале по *таблице 59* приложения определяют степень взрывоопасности горючих веществ.



По установленной степени опасности вещества выбирают соответствующий ей уровень (класс) взрывоустойчивости сооружения из следующих соотношений:

Степень взрывоопасности вещества	Класс взрывоопасности здания
1	I ( $\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{доп}} / 1,2$ )
2	II ( $\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{доп}} / 1,25$ )
3	III ( $\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{доп}} / 1,3$ )
4	IV ( $\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{доп}} / 1,4$ )
5	V ( $\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{доп}} / 1,5$ )

Под взрывоустойчивостью следует понимать отношение допускаемой нагрузки на самый слабый элемент конструкций, устойчивость которого при взрыве может быть обеспечена  $\Delta p_{\text{доп}}$ , к максимальной взрывной нагрузке  $\Delta p_{\max}$  в помещении.

Принятый класс взрывоустойчивости здания ограничивает величину максимальной взрывной нагрузки внутри помещения допускаемым избыточным давлением на наиболее слабый элемент, который может оказать влияние на взрывоустойчивость здания в целом.

Допускаемое избыточное давление в помещении  $\Delta p_{\text{доп}}$  устанавливается с учетом условий работы и прочности конструкций, а также прочности связей между ними

$$\Delta p_{\text{доп}} = \Delta p_{\text{ст}} k_{\text{в}} / k_{\text{пр}}$$

где  $\Delta p_{\text{ст}}$  — допускаемое давление (статическая нагрузка), определяемое по наиболее слабым конструкциям, которые могут повлиять на взрывоустойчивость сооружения (при отсутствии необходимых данных  $\Delta p_{\text{ст}}$  можно принимать по *таблице 60* приложения с учетом класса ответственности сооружения);  $k_{\text{в}}$  — коэффициент, учитывающий ветровой район строительства:

Ветровой район строительства	I	II	III	IV	V	VI	VII
Коэффициент $k_{\text{в}}$	0,7	0,8	1	1,2	1,35	1,3	1,8

$k_{\text{пр}}$  — коэффициент приведения статической нагрузки (*табл. 61* приложения).

Здания среднего типа строят либо полностью из металла, либо с применением сборных железобетонных колонн. Эти здания имеют пролеты до 30 м, высоту до 20 м, мостовые краны грузоподъемностью до 100 т.

К зданиям тяжелого типа относят цехи с пролетами 36 м и более, высотой 25...30 м с мостовыми кранами грузоподъемностью до 400 т. Каркас таких зданий делают только из стали.

**Определение нагрузок, разрушающих остекление.** Расчетная нагрузка,

разрушающая листовое оконное стекло, кПа,

$$p_{p.ст} = p_{ст} y$$

где  $p_{ст}$  — нагрузка, при которой разрушается листовое оконное стекло (при одинарном остеклении) с соотношением сторон листа 1:1 ((табл. 62 приложения);  $y$  — коэффициент условий работы ((табл. 63 приложения).

Разрушающую стекло нагрузку при промежуточных значениях площади одного листа следует определять интерполяцией приведенных ранее значений.

Если в качестве легко разрушаемого элемента конструкции, применяющегося для обеспечения сохранности здания при взрыве, используют двойное остекление, то разрушающую его нагрузку  $P_{p. ст2}$  увеличивают, рассчитывая ее по формуле

$$p_{p.ст2} = 1,15 p_{p.ст2}$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Алиев И. И.* Справочник по электротехнике и электроснабжению. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
2. *Зотов Б. И., Курдюмов В. И.* Безопасность жизнедеятельности на производстве, — М.: КолосС, 2003. — 432 с.
3. *Зотов Б. И., Курдюмов В. И.* Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. — М.: КолосС, 1997. — 136 с.
4. *Иванов Е. М.* Противопожарное водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1986. — 316 с.
5. *Белов С.В., Девисилов В.А.* Безопасность жизнедеятельности. — М.: Высшая школа, 2006. — 616 с.
6. *Каспаров А.А.* Гигиена труда и промышленная санитария. — М.: Медицина, 1977. — 384с.
7. *Справочник по гигиене труда.* /Под ред. Б.Д. Карпова. — Л.: Медицина, 1976. — 536 с.
8. *Справочное пособие по безопасности труда на производстве. Защитные устройства.* /Под ред. Б.М. Злобинского. — М.: Металлургия, 1971. 456 с.
9. *Справочная книга по охране труда в машиностроении.* /Под ред. О.Н. Русака. — Л.: Машиностроение, 1989. — 541 с.
10. *Справочник по безопасности производственных процессов.* /Под ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1985. 448 с.
11. *Справочник по безопасности труда в промышленности.* /К.Н. Ткачук, П.Я. Галушко, Р.В. Сабарно и др. — К.: Техника, 1982. 231 с.
12. *В.К. Навроцкий.* Гигиена труда. — М.: Медицина, 1967. — 476 с.
13. *Справочник. Средства защиты в машиностроении. Расчёт и проектирование.* /С.В. Белов, А.Ф. Козьяков, О.Ф. Партолин и др. — М.: Машиностроение, 1989. 368 с.
14. *А.И.Кондратьев, Н.М. Местечкина.* Охрана труда в строительстве. — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.
15. *В.П. Сивков.* Безопасность труда гальваника. — М.: Машиностроение, 1986. 80 с.
16. *Б.Д. Малышев, И.Г. Гетия.* Безопасность труда при выполнении сварочных работ в строительстве. — М.: Стройиздат, 1986. 88 с.
17. *А.Ф. Власов.* Техника безопасности при обработке металлов резанием. — М.: Машиностроение, 1980. 80 с.

18. *Б.А. Поволоцкий, М.А. Цыганов.* Безопасность труда при холодной обработке металлов. —М.: Машиностроение, 1972. 112 с.
19. *А.И. Файн, О.Д. Виноградова.* Безопасность труда формовщика. —М.: Машиностроение, 1987. 80 с.
20. *В.Л. Михайлова, В.В. Буренин.* Безопасность труда в кузнечно – штамповочных цехах. —М.: Высшая школа, 1988. 120 с.
21. *С.Л. Злотников, П.И. Казакевич, В.Л. Михайлова.* Безопасность труда в кузнечно – прессовых цехах. - М.: Машиностроение, 1967. 96 с.
22. *В.Ф. Власов.* Безопасность труда при обработке металлов резанием. —М.: Машиностроение, 1984. 88 с.
23. *В.В. Сафронов, Л.М. Диденко.* Охрана труда при изготовлении металлических конструкций. —М.: Стройиздат, 1990. 285 с.
24. *В.Л. Лапин, Н.И. Сердюк.* Охрана труда в литейном производстве. —М.: Машиностроение, 1990. 128 с.
25. *В.Г. Матюхов.* Техника безопасности в литейном производстве. —М.: Высшая школа , 1980. 94 с.
26. *А.И. Курносов.* Безопасность труда в полупроводниковом производстве. — М.: Высшая школа , 1981. 158 с.
27. *Н.П. Сугробов, Ю.И. Успенский.* Охрана труда при производстве малярных работ. —М.: Стройиздат, 1999. 53 с.
28. *В.П. Сивков.* Безопасность труда гальваника. —М.: Машиностроение, 1986. 80 с.
29. *Л.А.Серебряный.* Безопасность труда при нанесении гальванических покрытий. —М.: Машиностроение, 1980. 70 с.
30. *С.П. Павлова.* Охрана труда в радио – и электронной промышленности. — М.: Радио и связь, 1985. 200 с.
31. *А.Г. Лысяков.* Техника безопасности при перемещении грузов на машиностроительных предприятиях. —М.: Машиностроение, 1982. 239 с.
32. *А.Н. Бредихин, Э.И. Ландесман.* Охрана труда . Электро – монтажные работы. —М.: Высшая школа, 1990. 139 с.
33. *Инженерные решения по охране труда в строительстве./Под ред. Г. Г. Орлова.* — М.: Стройиздат, 1985. — 278 с.
34. *Колпаков А. П., Карнаухов И. Е.* Проектирование и расчет механических передач. — М.: Колос, 2000. — 328 с.
35. *Никитин Л. И.* Охрана труда в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности. — М.: Лесная промышленность, 1977. — 368 с.
36. *Охрана труда в строительстве. Инженерные решения: Справочник/В. И. Русин, Г. Г. Орлов, Н. М. Неделько и др.* — Киев: Будивэльник, 1990. — 208 с.

37. *Правила устройства электроустановок.* - СПб.: Издательство ДЕАН, 2003. - 928 с.
38. *Справочник по охране труда.* Т. 1. /Под ред. Л.П. Шарикова. —Л.: Судостроение, 1973.-552 с.
39. *Справочник по теплоснабжению сельскохозяйственных предприятий* / Под ред. В. В. Уварова. — М.: Колос, 1983. — 390 с.