

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**И. В. ТЕРПИГОРЕВА, Н. Ю. ЦВИЛЕНЕВА**

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**



**Уфа 2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

И. В. ТЕРПИГОРЕВА, Н. Ю. ЦВИЛЕНЕВА

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Допущено Редакционно-издательским советом УГАТУ  
в качестве практикума для студентов  
очной и заочной форм обучения,  
обучающихся по направлению подготовки бакалавров  
20.03.01 Техносферная безопасность*

Учебное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ  
ISBN 978-5-4221-1611-9

Уфа 2022

*Рецензенты:*

*доцент кафедры экономико-правового обеспечения безопасности БашГУ*

*канд. техн. наук Е. Н. Елизарьева;*

*специалист службы охраны труда ООО «Галерея окон»*

*Л. Е. Хусаинова*

**Терпигорева И. В., Цвиленева Н. Ю.**

Безопасность жизнедеятельности : практикум [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2022. – URL: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El\\_izd/2022-157.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2022-157.pdf)

Кратко изложен теоретический материал, необходимый для проведения расчетов, связанных с оценкой негативных воздействий на человека и обоснованием технических, организационных, санитарно-гигиенических и других мероприятий, направленных на обеспечение его безопасности. Приведены контрольные вопросы для закрепления изученного материала.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 20.03.01 Техносферная безопасность, а также для студентов очной и заочной форм обучения, обучающихся по всем направлениям подготовки и специальностям.

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы: *Терпигорева Инна Валерьевна,  
Цвиленева Нина Юрьевна*

Редактирование и верстка: *Р. М. Мухамадиева*  
Программирование и компьютерный дизайн: *О. М. Толкачёва*

*Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.*

Подписано к использованию: 03.08.2022  
Объем: 3,08 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.  
Тел.: +7-908-35-05-007  
e-mail: rik@ugatu.su

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современное производство является постоянным источником техногенной опасности и возникновения аварий, сопровождающихся чрезвычайными ситуациями. Общество все чаще сталкивается с проблемой поиска оптимального взаимодействия в системе «человек – машина – окружающая среда».

Курс безопасности труда призван не только ознакомить студентов с опасными и вредными производственными факторами, уровнями техногенного воздействия на человека в процессе труда, методами и средствами повышения безопасности технических систем и технологических процессов, основными направлениями снижения риска, но и научить выявлять и идентифицировать опасности на рабочих местах, осуществлять выбор технических, организационных, санитарно-гигиенических и других мероприятий, обеспечивающих безопасность, пользоваться нормативными правовыми актами по охране труда, приборами и средствами контроля условий труда и защиты работающих, выполнять расчеты, связанные с оценкой негативных воздействий на человека и обеспечением его безопасности.

В практикуме содержится теоретический материал и методики и справочные данные, необходимые для решения задач по нормализации воздушной среды, организации производственного освещения, распространению шума и защиты от него, защиты от неионизирующих и ионизирующих излучений. Для ряда задач приводятся варианты данных для самостоятельного решения.

# 1. ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

**Вредное вещество** – вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

## 1.1. Классификация вредных веществ

По характеру воздействия на человека вредные вещества подразделяются на следующие группы:

– **общетоксические** – вызывающие отравление всего организма (оксид углерода, цианистые соединения, свинец, ртуть, бензол, мышьяк и его соединения, ароматические углеводороды и их производные и т. д.);

– **раздражающие** – вызывающие раздражение органов дыхания, слизистых оболочек, дыхательных путей, глаз, кожи (хлор, аммиак, фтороводород, диоксид серы, оксиды азота, ацетон и т. д.);

– **сенсibiliзирующие** – действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки и др.);

– **канцерогенные** – вызывающие образование злокачественных опухолей (никель и его соединения, окись хрома, асбест, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), ароматические амины и др.);

– **мутагенные** – влияющие на генетический аппарат зародышевых и соматических клеток и приводящие к изменениям (мутациям) наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные элементы, формальдегид и др.);

– **влияющие на репродуктивную функцию** – вызывающие возникновение врожденных пороков, отклонений от нормального развития детей, влияющие на нормальное развитие плода (ртуть, свинец, никотин, стирол, радиоактивные вещества и др.).

В зависимости от их **практического использования** вредные вещества подразделяются на:

– промышленные яды (органические растворители, топливо, красители и др.);

– ядохимикаты (пестициды и пр.);

– бытовые химикаты (пищевые добавки, средства санитарии, личной гигиены, косметики и пр.);

- биологические растительные и животные яды (содержатся в растениях, грибах, у животных и насекомых);
- отравляющие вещества (зарин, иприт, фосген и пр.).

Вредные вещества в воздухе могут находиться в различных агрегатных состояниях:

- 1) смесях, которые образуют с воздухом пары и газы;
- 2) дисперсных системах (аэрозолях), которые в свою очередь подразделяются на:

- пыль (или «аэрозоль дезинтеграции») с размером твердых частиц более 1 мкм;
- дым с размером твердых частиц менее 1 мкм;
- туман (или «аэрозоль конденсации») с размером жидких частиц менее 10 мкм.

Пыль бывает крупно дисперсной (размер частиц более 50 мкм), среднедисперсной (50–100 мкм) и мелкодисперсной (менее 10 мкм).

**Производственная пыль** вызывает повреждение слизистой оболочки верхних дыхательных путей и воспаление легочной ткани. Результатом действия пыли являются пылевые бронхиты, пневмония, пневмокониозы, туберкулез, рак легких.

Пыль бывает крупно дисперсной (размер частиц более 50 мкм), среднедисперсной (50...100 мкм) и мелкодисперсной (менее 10 мкм). Пыль образуется при дроблении и размоле, транспортировке различного материала, механической обработке хрупких материалов, отделке поверхностей (шлифование, глянецвание) и т. д. Это основные, или первичные причины пылеобразования. Дым возникает при сгорании топлива в печах и энергоустановках, а туман – при использовании смазочно-охлаждающих жидкостей, в гальванических и травильных цехах при обработке металлов.

**По степени опасности** вредные вещества разделяют на четыре класса (ГОСТ 12.1.00–76 (1999) «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»):

Чрезвычайно опасные (ПДК менее 0,1 мг/м<sup>3</sup>) – 3,4 бенз(а)пирен, тетраэтилсвинец, ртуть, озон, фосген и др.

Высокоопасные (ПДК 0,1–1 мг/м<sup>3</sup>) – бензол, сероводород, оксиды азота, марганец, медь, хлор и др.

Умеренно опасные (ПДК 1,1–10 мг/м<sup>3</sup>) – нефть, метанол, ацетон, сернистый ангидрид.

Малоопасные (ПДК 10–100 мг/м<sup>3</sup>) – бензин, керосин, метан, этанол и др.

## 1.2. Пути поступления и действие вредных веществ на организм человека

Вредные вещества могут проникать в организм через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки. Основным путем проникновения – органы дыхания.

Под действием вредных веществ в организме человека происходят различные нарушения. Эти нарушения проявляются в виде острых, хронических отравлений.

**Острые отравления** развиваются быстро и обусловлены высокими концентрациями вредных веществ; чаще всего такие отравления бывают групповыми. Встречаются острые отравления в основном при аварийных ситуациях, поломках технологического оборудования. Эти отравления характеризуются:

– кратковременностью действия вредного фактора (в течение не более чем одной смены);

– поступлением вредного вещества в организм в относительно больших количествах (при высоких концентрациях в воздухе, ошибочном приеме внутрь, сильном загрязнении кожных покровов);

– яркими клиническими проявлениями непосредственно в момент действия вредного вещества или через относительно небольшой скрытый период.

**Хронические отравления** развиваются медленно в результате накопления в организме вредных веществ или суммирования функциональных изменений, вызванных действием таких веществ. Поражаемые органы и системы в организме при хроническом и остром отравлениях одним и тем же веществом могут отличаться. Например, при остром отравлении бензолом наблюдается наркотическое действие и в основном страдает нервная система, а при хроническом – система кроветворения.

**Комбинированное действие вредных веществ.** В производственных условиях работающие обычно подвергаются одновременному воздействию нескольких вредных веществ. При этом возможно четыре варианта проявления их действия:

**Суммация** (аддитивность) – суммарный эффект действия смеси равен сумме эффектов входящих в смесь компонентов.

**Потенцирование** (синергизм) – одно вещество усиливает действие другого. Синергизм отмечен при совместном действии оксидов углерода и азота (продукты неполного сгорания топлива). Алкоголь усиливает токсическое действие ртути.

**Антагонизм** – эффект комбинированного действия меньше ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого.

**Независимость** – общий эффект не отличается от изолированного действия каждого из веществ. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Например, смесь продуктов сгорания и пыли.

На токсическое воздействие вредных веществ оказывают влияние и другие вредные факторы (повышенная температура и влажность воздуха, шум, сильное мышечное напряжение и т. п.), а также индивидуальные особенности человека, влияние пола, влияние возраста.

### **1.3. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе и воде**

Основным показателем, используемым для контроля качества воздуха, является предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ. ПДК измеряется в  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

**ПДК в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>р.з.</sub>)** – концентрация, которая при еженедельной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч (или другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю) на протяжении всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Воздействие вредного вещества с концентрацией, равной ПДК, не исключает нарушения состояния здоровья у лиц с повышенной чувствительностью.

**Рабочая зона** – пространство высотой до 2 м над уровнем пола, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работающих. На постоянном рабочем месте работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно). Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Значения ПДК<sub>р.з.</sub> определены в государственных стандартах ГОСТ 12.1.005–88 (ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны) и ГН 2.2.5.3532–18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». Для рабочей зоны ПДК устанавливаются в виде максимально разовых и среднесменных нормативов.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов определены по максимально разовой и среднесуточной концентрации примесей в ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений».

Для веществ, способных вызывать преимущественно хронические интоксикации (фиброгенные пыли, аэрозоли дезинтеграции металлов и др.), устанавливаются *среднесменные* ПДК. Для веществ с остронаправленным токсическим эффектом (ферментные, раздражающие яды и др.) устанавливаются *максимально разовые* концентрации. Для веществ, при воздействии которых возможно развитие как хронических, так и острых интоксикаций, устанавливаются как максимально разовые, так и среднесменные ПДК.

**ПДК<sub>м.р.</sub>** (максимально разовая ПДК) – характеристика опасности вредного вещества, которая установлена для предупреждения возникновения рефлекторных реакций человека (ощущение запаха, световая чувствительность и др.) при воздействии не более 30 мин.

**ПДК<sub>сс</sub>** (среднесуточная ПДК) – это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом вдыхании (годы). Таким образом, ПДК<sub>сс</sub> рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде. Если в воздухе рабочей зоны находятся несколько веществ, обладающих независимым действием, то концентрация  $C_i$  каждого вещества не должна превышать установленное для него значение ПДК

$$C_i \leq \text{ПДК}_{\text{р.з.}} \quad (1.1)$$

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Предельно допустимые концентрация вредных веществ в воздухе, мг/м<sup>3</sup>

Вещество	В воздухе рабочей зоны	В воздухе населенных пунктов		Класс опасности	Характер воздействия
		Максимальная разовая; воздействие ≤ 30 мин	Средне-суточная; воздействие > 30 мин		
Азота диоксид	2,0	0,085	0,040	II	О
Азота оксиды	5,0	0,600	0,060	III	О
Азотная кислота	2,0	0,400	0,150	II	–
Акролеин	0,2	0,030	0,030	III	–
Алюминия оксид	6,0	0,200	0,040	IV	Ф
Аммиак	20,0	0,200	0,040	IV	–
Ацетон	200,0	0,350	0,350	IV	–
Бензол	5,0	1,500	0,100	II	К
Ванадия пентаоксид	0,1	–	0,002	I	–
Винилацетат	10,0	0,150	0,150	III	–
Вольфрам	6,0	–	0,100	III	Ф
Вольфрамовый ангидрид	6,0	–	0,150	III	Ф
Гексан	300,0	60,000	–	IV	–
Дихлорэтан	10,0	3,000	1,000	II	–
Кремния диоксид	1,0	0,150	0,060	III	Ф
Ксилол	50,0	0,200	0,200	III	–
Метанол	5,0	1,000	0,500	III	–
Озон	0,1	0,160	0,030	I	О
Полипропилен	10,0	3,000	3,000	III	–
Ртуть	–	–	0,0003	I	–
Серная кислота	1,0	0,300	0,100	II	–
Сернистый ангидрид	10,0	0,500	0,050	III	–
Сода кальцинированная	2,0	–	–	III	–
Соляная кислота	5,0	–	–	II	–
Толуол	50,0	0,600	0,600	III	–
Углерода оксид	20,0	5,000	3,000	IV	О
Фенол	0,3	0,010	0,003	II	–
Формальдегид	0,5	0,035	0,003	II	О, А
Хлор	1,0	0,100	0,030	II	О
Хрома оксид	1,0	–	–	III	А
Хрома триоксид	0,01	0,0015	0,0015	I	К, А
Цементная пыль	6,0	–	–	IV	Ф
Этилендиамин	2,0	0,001	0,001	III	–
Этанол	1000,0	5,000	5,000	IV	–

**Примечание:** О – вещества с остронаправленным действием; А – вещества, способные вызвать аллергические заболевания; К – канцерогены; Ф – аэрозоли фиброгенного действия.

**Нормирование содержания вредных веществ в воде.** Вода – один из важнейших компонентов биосферы и необходимый фактор существования живых организмов. В настоящее время интенсивное антропогенное воздействие на гидросферу обуславливает рост высокую степень загрязненности водных объектов. Поверхностные и подземные водные объекты относятся к объектам государственного санитарного надзора.

Основные источники загрязнения водоемов – бытовые сточные воды и стоки промышленных предприятий. Поверхностный сток (ливневые воды) – непостоянный по времени, количеству и качеству фактор загрязнения водоемов. Загрязнение водоемов происходит также в результате работы водного транспорта и осуществления лесосплава.

Различают водопользование двух категорий. К первой категории относится использование водного объекта в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второй категории относится использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

**ПДК для воды водных объектов** – максимальная концентрация вещества в воде, которая при поступлении в организм в течение всей жизни не должна оказывать влияния на здоровье населения в настоящем и последующем поколениях, а также не ухудшать гигиенические условия водопользования.

В основу классификации веществ по классам опасности положены показатели, характеризующие различную степень опасности для человека химических соединений в зависимости от токсичности, кумулятивности, способности вызывать отдаленные эффекты, лимитирующего показателя вредности (санитарно-токсикологический, общесанитарный, органолептический).

Нормативы, установленные по общесанитарному признаку вредности, способствуя снижению эпидемиологической опасности, должны обеспечивать также безопасность воды по токсикологическому и органолептическому признакам вредности.

**ПДК вредных веществ в водных объектах** первой и второй категорий водопользования (согласно ГН 2.1.5.2280–07 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования») приведены в табл. 1.2.

Величины ПДК приведены в мг вещества на 1 л воды (мг/л). Наряду с величинами ПДК указан класс опасности и лимитирующий показатель вредности (ЛПВ), по которому установлены ПДК:

- *с.-т.* – санитарно-токсикологический;
- *общ.* – общесанитарный;
- *орг.* – органолептический с расшифровкой характера изменения органолептических свойств воды (*зап.*– изменяет запах воды).

Вещества разделены на четыре класса опасности:

- 1 класс – чрезвычайно опасные;
- 2 класс – высоко опасные;
- 3 класс – опасные;
- 4 класс – умеренно опасные.

Таблица 1.2

ПДК вредных веществ

в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Вещество	ЛПВ	ПДК, мг/л	Класс опасности
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Алюминий	с-т.	0,5	2
Ацетальдегид	орг.	0,2	4
Ацетон	общ.	2,2	3
Барий	с-т.	0,1	2
Бенз(а)пирен	с-т.	0,000005	1
Бензин	орг.	0,1	3
Бензол	с-т.	0,5	2
Бериллий	с-т.	0,0002	1
Бор	с-т.	0,5	2
Бром	с-т.	0,2	2
Бутилбензол	орг.	0,1	3
Бутилен	орг.	0,2	3
Ванадий	с-т.	0,1	3
Винилацетат	с-т.	0,2	2
Висмут	с-т.	0,1	2
Вольфрам	с-т.	0,05	2
Гидрохинон	орг.	0,2	4
Глицерин	общ.	0,5	4
Диметилфталат	с-т.	0,3	3
Диэтиламин	с-т.	2,0	3
Железо	орг.	0,3	3
Кадмий	с-т.	0,001	2

1	2	3	4
Кальция фосфат	общ.	3,51	4
Капролактам	общ.	1,0	4
Керосин технический	орг.	0,01	4
Кобальт	с-т.	0,1	2
Кремний	с-т.	10,0	2
Литий	с-т.	0,03	2
Марганец	орг.	0,1	3
Медь	орг.	1,0	3
Метилмеркаптан	орг.	0,0002	4
Молибден	с-т.	0,25	2
Мышьяк	с-т.	0,05	2
Натрий	с-т.	200,0	2
Натрия хлорат	орг.	20,0	3
Нафталин	орг.	0,01	4
Нефть многосернистая	орг.	0,1	4
Никель	с-т.	0,1	3
Ниобий	с-т.	0,01	2
Нитраты	с-т.	45,0	3
Нитриты	с-т.	3,3	2
Пропил бензол	орг.	0,2	3
Пропилен	орг.	0,5	3
Ртуть	с-т.	0,0005	1
Свинец	с-т.	0,03	2
Селен	с-т.	0,01	2
Сероуглерод	орг.	1,0	4
Скипидар	орг.	0,2	4
Стирол	орг.	0,1	3
Стрептоцид	общ.	0,5	4
Стронций (стабильный)	с-т.	7,0	2
Сульфаты	орг.	500,0	4
Сульфиды	общ.	–	3
Таллий	с-т.	0,0001	1
Натрия тиосульфат	общ.	2,5	3
Фенол	орг.	0,001	4
Формальдегид	с-т.	0,05	2
Фосфор элементарный	с-т.	0,0001	1
Фтор	с-т.	1,5	2
Хлор активный	общ.	–	3

**Качество питьевой воды.** Питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства (ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством»). В соответствии с нормативными требованиями качество питьевой воды оценивают по трем показателям: бактериологическому, токсикологическому и органолептическим свойствам воды.

*Бактериологический показатель:* безопасность воды в эпидемическом отношении определяется общим числом микроорганизмов и числом бактерий группы кишечных палочек.

*Токсикологический показатель:* качество воды характеризуется безвредностью ее химического состава. Токсикологическими показателями являются нормативы для веществ, встречающихся в природных водах, добавляемых к воде в процессе обработки в виде реагентов, появляющихся в результате промышленного, сельскохозяйственного, бытового и иного загрязнения источников водоснабжения. Показатели, обеспечивающие благоприятные *органолептические свойства воды*, включают нормативы для веществ: встречающихся в природных водах; добавляемых к воде в процессе обработки в виде реагентов; появляющихся в результате промышленного, сельскохозяйственного и бытового загрязнений источников водоснабжения. Наибольшее гигиеническое значение имеют следующие показатели (хлориды, сульфаты, жесткость воды, железо и др.)

**Эффект суммации.** Некоторые вещества способны оказывать сходное неблагоприятное воздействие на организм. В этом случае говорят об эффекте суммации вредного действия.

Если в воздухе присутствует  $n$  веществ, обладающих эффектом суммации, то сумма отношения концентрации  $C_i$  каждого вещества к его  $ПДК_{p.з.i}$  не должна превышать единицу

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_{p.з.i}} \leq 1. \quad (1.2)$$

Если в воде присутствует несколько веществ 1-го и 2-го классов опасности, сумма отношений концентраций ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) каждого из веществ в водном объекте к соответствующим значениям  $ПДК_{p.з.}$  также не должна превышать единицу

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_i}{ПДК_n} \leq 1. \quad (1.3)$$

## 1.4. Задания для самостоятельной работы

**1.4.1. Оценка качества воздуха.** В результате анализа в пробе воздуха производственного помещения обнаружены вредные вещества (наименование и количество согласно варианту приведены в табл. 1.4). Провести оценку воздействия вредных веществ, содержащихся в воздухе. Результаты отчета представить в соответствии с табл. 1.3.

Ход выполнения задания:

1. Согласно варианту задания (табл. 1.4) заполнить графы 1...3 в табл. 1.3. Выписать вредные вещества, которые содержатся в воздухе рабочей зоны и значения фактической концентрации для каждого из них.

2. Используя нормативно-техническую документацию (табл. 1.1), заполнить графы 4...8 табл. 1.3. Выписать ПДК вредных веществ, класс опасности и особенности действия согласно варианту задания.

3. Сопоставить фактические концентрации веществ с предельно допустимыми и сделать вывод о соответствии нормам содержания каждого из веществ в графах 9...11 (см. образец в табл. 1.3), т. е. «<ПДК», «>ПДК», «=ПДК» (см. образец в табл. 1.3).

Таблица 1.3

Образец заполнения таблицы при выполнении задания 1.2.1

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация, $C_i$ , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>i</sub> , мг/м <sup>3</sup>			Класс опасности	Особенности воздействия	Сравнение фактической концентрации с ПДК <sub>i</sub>		
			В воздухе рабочей зоны	Максимальная разовая	Среднесуточная			В воздухе рабочей зоны	Максимальная разовая	Среднесуточная
01	СО	5	20	5	3	IV	О	<ПДК	=ПДК	>ПДК

Таблица 1.4

Варианты заданий к задаче 1.4.1. Оценка качества воздуха

Вариант	Вещество	$C_i$ , мг/м <sup>3</sup>	Вариант	Вещество	$C_i$ , мг/м <sup>3</sup>	Вариант	Вещество	$C_i$ , мг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	Фенол	0,001	06	Озон	0,01	11	Этанол	150
	Азота оксиды	0,1		Метанол	0,2		Углерода оксид	15
	Углерода оксид	10		Ксилол	0,5		Озон	0,01
	Вольфрам	5		Азота диоксид	0,5		Серная кислота	0,05
	Полипропилен	5		Формальдегид	0,01		Дихлорэтан	5
	Ацетон	0,5		Толуол	0,5		Ацетон	0,5
02	Аммиак	0,01	07	Акролеин	0,01	12	Аммиак	0,5
	Ацетон	150		Дихлорэтан	5		Азота диоксид	1
	Бензол	0,05		Озон	0,01		Вольфрам	5
	Озон	0,001		Углерода оксид	15		Хрома оксид	0,2
	Дихлорэтан	5		Формальдегид	0,02		Озон	0,001
	Фенол	0,5		Вольфрам	4		Дихлорэтан	5
03	Акролеин	0,01	08	Азота диоксид	0,04	13	Азота диоксид	5
	Дихлорэтан	4		Аммиак	0,5		Озон	0,001
	Хлор	0,02		Хрома оксид	0,2		Углерода оксид	10
	Углерода оксид	10		Озон	0,5		Дихлорэтан	5
	Бензол	0,03		Ртуть	0,001		Сода	1
	Бензол	0,1		Акролеин	0,01		Ртуть	0,001
	Хрома оксид							
04	Ацетон	0,2	09	Акролеин	0,01	14	Ацетон	0,3
	Углерода	15		Дихлорэтан	5		Фенол	0,005
	Кремния	0,2		Хлор	0,01		Формальдегид	0,02
	Фенол	0,003		Хрома	0,1		Полипропилен	8
	Формальдегид	0,02		Ксилол	0,3		Толуол	0,07
	Толуол	0,5		Ацетон	150		Винилацетат	0,15
05	Азота оксиды	0,1	10	Углерода оксид	10	15	Метанол	0,3
	Алюминия	5		Этилендиамин	0,1		Этанол	100
	Фенол	0,01		Аммиак	0,1		Цементная	200
	Бензол	0,05		Азота диоксид	5		Углерода оксид	15
	Формальдегид	0,01		Ацетон	100		Ртуть	0,001
	Винилацетат	0,1		Бензол	0,05		Ксилол	0,5

Окончание табл. 1.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Азотная	0,5	21	Серная кислота	0,5	26	Углерода оксид	10
	Толуол	0,6		Азотная	0,5		Азота диоксид	1,0
	Винилацетат	0,15		Вольфрам	0,2		Формальдегид	0,02
	Углерода	10		Кремния	0,01		Акролеин	0,01
	Алюминия	5		Фенол	0,2		Дихлорэтан	5
	Гексан	0,01		Ацетон	0,001		Озон	0,02
17	Азота диоксид	0,5	22	Аммиак	0,001	27	Ванадия	0,1
	Ацетон	0,2		Азота оксиды	0,1		Озон	0,1
	Бензол	0,05		Вольфрам	4		Хрома	0,1
	Фенол	0,01		Алюминия	5		Хлор	0,02
	Углерода	10		Углерода оксид	5		Углерода оксид	10
	Винилацетат	0,1		Фенол	0,01		Азота диоксид	1
18	Серная	0,05	23	Серная кислота	0,5	28	Аммиак	0,02
	Углерода	5		Ацетон	100		Азота диоксид	5
	Хрома оксид	0,2		Хрома оксид	0,2		Хрома оксид	0,2
	Азота диоксид	0,05		Фенол	0,001		Ксилол	0,5
	Сернистый	0,5		Азотная	0,5		Ртуть	0,000
	Аммиак	0,5		Озон	0,001		Гексан	0,01
19	Азота оксиды	0,1	24	Ацетон	0,15	29	Озон	0,05
	Алюминия	5		Озон	0,05		Азота диоксид	1
	Формальдегид	0,02		Фенол	0,02		Углерода оксид	15
	Винилацетат	0,1		Хрома оксид	0,15		Хлор	0,02
	Бензол	0,05		Этилендиамин	0,9		Хрома	0,09
	Фенол	0,005		Аммиак	0,05		Ванадий	0,05
20	Аммиак	0,05	25	Акролеин	0,01	30	Аммиак	0,4
	Азота оксиды	0,1		Дихлорэтан	5		Азота диоксид	0,5
	Углерода	15		Озон	0,01		Хрома оксид	0,18
	Фенол	0,005		Углерода оксид	20		Соляная	4
	Вольфрам	4		Вольфрам	5		Серная кислота	0,04
	Алюминия	5		Формальдегид	0,02		Сернистый	0,4

**1.4.2. Оценка качества воды.** В результате анализа в пробе питьевой воды обнаружены вредные вещества (наименование и концентрация согласно варианту приведены в табл. 1.6). Провести оценку качества питьевой воды:

1. Определить класс опасности каждого вещества.
2. Определить ПДК каждого из веществ (см. табл. 1.2).
3. Указать лимитирующие показатели вредности.

4. Сравнить фактические значения концентраций веществ с ПДК.
5. При наличии веществ 1-го и 2-го классов опасности провести оценку качества питьевой воды по формуле (1.3).
6. Результаты представить в виде табл. 1.5.

Таблица 1.5

Образец заполнения таблицы при выполнении задания 1.4.2

Вариант	Вредное вещество	Класс опасности	ПДК, мг/л	Фактическая концентрация, $C_i$ , мг/л	Лимитирующие показатели вредности	Превышение ПДК
...						
...						

Провести анализ табл. 1.5. Результаты анализа оформить в виде вывода в следующем виде:

«Как видно из таблицы вещества, содержащиеся в пробе воды, относятся к 1 (2, 3, 4) классу(ам) опасности и содержатся в количестве, (не) превышающем ПДК в  $n$  раз».

При наличии веществ 1 и 2 класса, при проверке выполнения условия формулы 2 делаем вывод:

«Получившееся значение  $\dots > ? < 1$ , следовательно, анализируемая вода (не) удовлетворяет нормативным требованиям к питьевой воде и (не) может быть использована по назначению».

Таблица 1.6

Варианты заданий к задаче 1.4.2. Оценка качества питьевой воды

Вариант	Вещество	$C_i$ , мг/л	Вариант	Вещество	$C_i$ , мг/л	Вариант	Вещество	$C_i$ , мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	Алюминий	0,4	07	Бензин	0,06	13	Барий	0,07
	Бериллий	0,0001		Ртуть	0,0001		Алюминий	0,45
	Бутилен	0,15		Фосфор	0,0001		Фенол	0,0008
	Ацетон	2,0		Диметилфталат	1,0		Нитриты	3,0
	Хлор активный	0,0001		Нефть	0,001		Скипидар	0,2

Продолжение табл. 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
02	Ванадий	0,05	08	Капролактамы	0,7	14	Стронций	5,0
	Железо	0,04		Ртуть	0,0002		Нитриты	2,5
	Кальция фосфат	0,1		Бром	0,15		Медь	0,9
	Галлий	3,0		Вольфрам	0,04		Нафталин	0,01
	Кобальт	0,0001		Натрий	150,0		Литий	0,02
03	Свинец	0,02	09	Фтор	1,0	15	Селен	0,005
	Висмут	0,08		Глицерин	0,3		Алюминий	0,1
	Скипидар	0,1		Кадмий	0,01		Фтор	1,3
	Нитраты	40,0		Диэтиламин	1,0		Винилацетат	0,16
	Фенол	0,0002		Бутил бензол	0,01		Нитриты	35
04	Медь	0,8	10	Стирол	0,09	16	Ацетальдегид	0,1
	Ниобий	0,005		Капролактамы	0,5		Формальдегид	0,02
	Селен	0,002		Ртуть	0,0004		Сульфиды	0,0001
	Нафталин	0,02		Галлий	0,0005		Ртуть	0,0003
	Натрия хлорат	10,0		Кремний	6,7		Стронций	1,0
05	Бенз(а)пирен	0,0001	11	Молибден	0,4	17	Мышьяк	0,01
	Кремний	1,0		Керосин	0,005		Натрия	1,5
	Гидрохинон	0,1		Стронций	2,5		Фтор	1,0
	Ацетальдегид	0,05		Никель	0,1		Алюминий	0,35
	Стирол	0,01		Стрептоцид	0,4		Марганец	0,01
06	Марганец	0,04	12	Формальдегид	0,04	18	Натрия	0,5
	Сульфаты	50,0		Вольфрам	0,04		Никель	0,1
	Литий	0,01		Кобальт	0,05		Медь	0,2
	Нитриты	3,5		Скипидар	0,2		Барий	0,05
	Формальдегид	0,03		Диметилфталат	1,5		Висмут	0,01
19	Бензин	0,1	23	Бензин	0,1	27	Сульфиды	0,0002
	Никель	0,2		Нитриты	1,0		Винилацетат	0,15
	Селен	0,007		Мышьяк	0,01		Сероуглерод	1,2
	Барий	0,01		Бром	0,15		Бензол	0,4
	Литий	0,02		Кальция фосфат	2,5		Натрия	2,0
20	Вольфрам	0,04	24	Мышьяк	0,003	28	Хлор	0,0001
	Марганец	0,15		Бор	0,3		Кадмий	0,0005
	Глицерин	0,4		Пропилен	0,4		Галлий	0,0006
	Натрий	150,0		Сульфиды	0,0001		Диэтиламин	2,2
	Кобальт	0,1		Глицерин	0,6		Фенол	0,0001
21	Фтор	1,0	25	Стирол	0,1	29	Кадмий	0,001
	Пропилен	0,45		Бенз(а)пирен	0,0003		Ванадий	0,1
	Ниобий	0,008		Свинец	0,01		Бутилен	0,17
	Натрий	148,0		Бор	0,1		Бром	0,2
	Никель	0,4		Сероуглерод	0,3		Стирол	0,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	Фосфор	0,0001	26	Ниобий	0,001	30	Кальция	2,5
	Сульфаты	6,0		Молибден	0,2		Глицерин	0,4
	Кремний	1,0		Бериллий	0,0001		Сульфиды	0,0002
	Бутилен	0,1		Натрий	120,0		Бензол	0,4
	Нафталин	0,02		Стрептоцид	0,4		Сульфаты	6,0

### Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию вредных веществ по характеру воздействия на человека.
2. Дайте классификацию вредных веществ по практическому применению.
3. Перечислите пути поступления вредных веществ в организм человека. Какой из них самый распространенный?
4. Почему является опасным производство с пылевыделением?
5. Какие существуют варианты проявления комбинированного действия вредных веществ?
6. Сколько классов опасностей вредных веществ существует? Что является показателем их степени опасности?
7. Как осуществляется нормирование содержания вредных веществ в воздухе? Что такое предельно допустимые, максимально-разовые, среднесуточные концентрации?
8. Что такое рабочая зона?
9. По каким показателям проводят оценку качества питьевой воды?
10. Что такое лимитирующие показатели вредности (ЛПВ)? Назовите основные ЛПВ.

## **2. КАЧЕСТВО ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И МИКРОКЛИМАТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Обеспечение комфортных условий для трудовой деятельности позволяет повысить качество и производительность труда, обеспечить хорошее самочувствие и наилучшие для сохранения здоровья параметры среды обитания и характеристики трудового процесса.

Наиболее значимым для создания комфортных условий на рабочем месте является обеспечение нормативных метеорологических условий в производственных помещениях, оказывающих существенное влияние на самочувствие человека. Производственный микроклимат зависит от теплофизических особенностей технологического процесса, климата местности, сезона года, условий отопления и вентиляции.

### **2.1. Основные теоретические сведения**

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в рабочей зоне помещений, т. е. пространстве высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся рабочие места.

Атмосферный воздух в своем составе содержит (% по объему): азота – 78,08; кислорода – 20,95; аргона, неона и других инертных газов – 0,93; углекислого газа (диоксида углерода) – 0,03; прочих газов – 0,01. Плотность воздуха при нормальных условиях (температура  $t = 0$  °С, давление  $P = 760$  мм рт. ст. = 1015 кПа) равна  $\rho = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>. Удельная теплоемкость воздуха  $c = 0,24$  кал/г или  $c = 1005,6$  Дж/кг (1 кал = 4,19 Дж). Воздух с таким химическим составом наиболее благоприятен для дыхания.

Однако воздух рабочей зоны редко имеет приведенный выше химический состав, т. к. многие технологические процессы сопровождаются выделением в воздух производственных помещений вредных веществ – паров, газов, твердых и жидких частиц. В загрязненном воздухе количество диоксида углерода может достигать 0,5%; кроме этого в воздухе могут содержаться различные вредные (токсичные) газы и аэрозоли.

Для обеспечения безопасных условий жизнедеятельности для воздуха производственных помещений должно выполняться условие

$$C_i < \text{ПДК}_i, \quad (2.1)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в воздухе,  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества в рабочей зоне.

Если в воздухе присутствуют вещества однонаправленного действия на организм человека, вступает в силу так называемый **эффект суммации**. Для таких веществ должно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (2.2)$$

где  $n$  – число суммирующихся веществ.

**Защита от вредных веществ на производстве.** Мероприятия по обеспечению безопасности труда при работе с вредными веществами должны предусматривать:

- замену более токсичных веществ менее токсичными;
- применение прогрессивных технологий на производстве (замкнутый цикл, автоматизация, дистанционное управление);
- выбор производственного оборудования, не допускающего выделения вредных веществ в количествах, превышающих ПДК;
- наличие вентиляции, средств пожаровзрывозащиты;
- применение средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

**Обеспечение микроклиматических условий.** Кроме вредных примесей в воздух помещений в результате технологических процессов может поступать избыточное тепло от приборов, оборудования, людей, лучистой энергии солнца и т. п., а также избыточная влага (пары воды). Нормализация воздушной среды производственных помещений, т. е. удаление вредных примесей, избыточного тепла и влаги осуществляется с помощью вентиляции, как *местной*, организуемой в местах выделения примесей, тепла или влаги, так и *общеобменной*.

**Потребным воздухообменом** называется количество воздуха, которое необходимо вводить в помещение (или удалять из него) в течение часа. Для оценки качества вентиляции необходимо знать **фактический воздухообмен**, т. е. то количество воздуха, которое в действительности поступает (удаляется) в течение часа.

**Кратностью воздухообмена** называется число, показывающее, сколько раз в течение часа происходит полная замена воздуха в помещении. Кратность воздухообмена ( $\text{ч}^{-1}$ ) определяется по формуле

$$K = \frac{L_{\text{ф}}}{V}, \quad (2.3)$$

где  $L_{\text{ф}}$  – фактический воздухообмен,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $V$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ .

Для обеспечения качества воздушной среды необходимо правильно выбрать систему вентиляции, рассчитать ее параметры, основным из которых является потребное количество воздуха, поступающего в помещение и удаляемого из него.

## **2.2. Определение потребного воздухообмена при общеобменной вентиляции**

При нормальном микроклимате (отсутствие избыточного тепла, влажности) в случае отсутствия выделений вредных веществ в результате технологических процессов или из материалов, хранящихся в помещении (или их содержание находится в пределах санитарных норм), воздухообмен ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) можно определить по формуле

$$L = N \cdot L_1, \quad (2.4)$$

где  $N$  – число работающих,  $L_1$  – расход воздуха на одного работающего.

Значение  $L_1$  зависит от объема помещения, который приходится на 1 человека. При отсутствии естественной вентиляции  $L_1 = 60 \text{ м}^3/\text{чел.}$  При наличии естественной вентиляции –  $30 \text{ м}^3/\text{чел.}$

**Выделение вредных веществ.** Пусть  $G$  – количество выделяемого вредного вещества, мг/ч;  $C_{\text{прит}}$  – концентрация этого же вредного вещества в приточном воздухе;  $q_{\text{выт}}$  – концентрация вещества в вытяжном воздухе;  $L_1$  – количество воздуха, поступающего в помещение,  $L_2$  – количество воздуха, удаляемого из помещения. Тогда, по закону сохранения вещества, имеем

$$G + L_1 \cdot C_{\text{прит}} = L_2 \cdot C_{\text{выт}}, \quad (2.5)$$

Но поскольку одним из требований, предъявляемых к вентиляции является  $L_1 = L_2 = L$ , получим

$$L = \frac{G}{C_{\text{выт}} - C_{\text{прит}}}. \quad (2.6)$$

Воздух, поступающий извне, как бы разбавляет воздух в помещении до концентрации  $C_{\text{выт}}$ . Но поскольку должно выполняться условие  $C_i < \text{ПДК}_i$ , где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в воздухе, для определения минимально необходимого воздухообмена

Если в воздухе присутствуют вещества одностороннего действия на организм человека, вступает в силу так называемый **эффект суммации**. Для таких веществ должно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (2.7)$$

где  $n$  – число суммирующихся веществ.

По санитарным требованиям должно выполняться условие  $C_{\text{выт}} < \text{ПДК}$ . Следовательно, потребный воздухообмен

$$L = \frac{G}{\text{ПДК} - C_{\text{прит}}}. \quad (2.8)$$

Требование к концентрации вещества в приточном воздухе

$$C_{\text{прит}} \leq 0,3 \cdot \text{ПДК}. \quad (2.9)$$

В случае выделения нескольких веществ, не обладающих эффектом суммации, требуемый воздухообмен рассчитывается по каждому из них, а затем выбирается максимальное значение. В случае  $n$  суммирующихся веществ окончательная величина требуемого воздухообмена рассчитывается как  $\sum L_n$ .

Скорость выделения вредных веществ при различных технологических процессах обычно определяется из справочных данных, в частности [14]. При отсутствии данных оценочный расчет можно привести, зная фактические концентрации вредных веществ  $C_i$ , измеренные в рабочей зоне, при допущении, что имеющаяся вентиляция обеспечивает минимальную допустимую кратность воздухообмена, равную 1. Тогда

$$G_i = C_i \cdot L_{K=1} \cdot k, \quad (2.10)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества,  $L_{K=1}$  – воздухообмен при  $K = 1$ , численно равный объему помещения,  $k$  – коэффициент неравномерности, обычно принимается равным  $1,5 \div 2$ .

**Выделение избыточного тепла.** При вентиляции избыточное тепло  $Q$  расходуется на нагрев поступающего воздуха (изменение температуры с  $t = t_{\text{прит}}$  до  $t = t_{\text{выт}}$ )

$$Q = c \cdot m \cdot (t_{\text{выт}} - t_{\text{прит}}), \quad (2.11)$$

где  $L$  – воздухообмен,  $m = L \cdot \rho$  – масса нагреваемого воздуха в час,  $\rho$  – плотность воздуха.  $c$  – теплоемкость воздуха, равная  $1,005$  кДж/(кг·°К). Плотность сухого воздуха при заданных температуре и давлении может быть вычислена с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона:  $\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$ , где  $M$  – молярная масса сухого воздуха, равная  $29$  г/моль,  $p$  – абсолютное давление,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура в Кельвинах. Таким образом, при стандартной атмосфере Международного союза теоретической и прикладной химии (температуре  $0$  °С, давлении  $100$  кПа, нулевой влажности) плотность воздуха  $1,2754$  кг/м<sup>3</sup> подстановкой получаем, что при  $20$  °С,  $101,325$  кПа и сухом воздухе плотность атмосферы составляет  $1,2041$  кг/м<sup>3</sup>.

Из 2.10 получим

$$L_Q = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{выт}} - t_{\text{прит}})} \quad (2.12)$$

Обычно известна температура в рабочей зоне ( $t_{\text{раб.з.}}$ ), т. е. в объеме пространства, высотой до 2 м над полом или рабочей площадкой. Температура вытяжного воздуха ( $t_{\text{выт}}$ ) в таком случае определяется по формуле

$$t_{\text{выт}} = t_{\text{раб.з.}} + \Delta t \cdot (H - 2), \quad (2.13)$$

где  $H$  – высота вытяжных отверстий над уровнем рабочей площадки, м;  
 $\Delta t = 0,5 \dots 1$  °С/м – температурный градиент по высоте (в задачах принимать  $\Delta t = 1$  °С/м).

**Выделение избыточной влаги.** Необходимый воздухообмен при избыточных влаговыведениях определяем по формуле:

$$L = \frac{G_{\text{в}}}{(d_{\text{выт}} - d_{\text{прит}})}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.14)$$

где  $G_{\text{в}}$  – количество выделяемой влаги, кг/ч;  $d_{\text{выт}}$  – влагосодержание отводимого из помещения воздуха определяем по табл. ПЗ.

**Пример 1.** В помещении конструкторского бюро объемом  $V_{\text{пом}} = 800 \text{ м}^3$  одновременно работает 75 человек и обеспечивается воздухообмен  $L = 1900 \text{ м}^3/\text{ч}$  за счет естественной вентиляции. Определить соответствие воздухообмена в помещении требованиям санитарных норм.

*Решение.*

Определим количество воздуха, подаваемого на одного работника

$$L_1 = \frac{L_{\text{прит}}}{n} = \frac{1900}{75} = 25,3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем помещения, приходящийся на одного работающего равен

$$V_1 = \frac{V_{\text{пом}}}{n} = \frac{800}{75} = 10,6 \text{ м}^3.$$

В соответствии с требованиями санитарных норм в помещении объемом воздуха на одного работающего  $V_1 < 20 \text{ м}^3/\text{ч}$  необходимый воздухообмен  $L_1$  должен составлять не менее  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В нашем случае он равен  $25,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ , следовательно, это условие не соблюдается. Таким образом, нормируемые параметры микроклимата и требуемый состав воздушной среды не соответствуют нормативам.

**Пример 2.** Проверить, обеспечивается ли необходимый воздухообмен за счет общеобменной вентиляции в помещении для наладки крупногабаритного радиоэлектронного оборудования при следующих условиях: количество тепла, поступающего в помещение от оборудования, освещения, солнечной инсоляции, людей, составляет  $Q_{\text{пост}} = 5020 \text{ кДж/ч}$ , а потери тепла (через стены, оконные проемы и др.) составляют  $Q_{\text{пот}} = 840 \text{ кДж/ч}$ . Площадь сечения приточного воздуховода  $F = 0,62 \text{ м}^2$ . Измеренная скорость воздуха в приточном воздуховоде  $V = 0,3 \text{ м/с}$ . Температура приточного воздуха  $t_{\text{прит}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Решение.*

1. Наладка крупногабаритного радиоэлектронного оборудования выполняется преимущественно стоя, не связана с перемещением предметов весом более  $1 \text{ кг}$ , поэтому данную работу можно отнести к категории 2а.

Допустимая температура воздуха для холодного периода года ( $t_{\text{нар}} < +10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) равна  $17\text{--}23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Количество приточного воздуха, поступающего в помещение, равно

$$L_{\text{прит}} = 3600 \cdot F \cdot v = 3600 \cdot 0,62 \cdot 0,3 = 669,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Необходимый воздухообмен определяем по формуле (2.12)

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{прит}})}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{потерь}} = 5020 - 840 = 4180 \text{ кДж/ч};$$

$T_{\text{уд}}$  – средняя температура воздуха в рабочей зоне;

$$L = \frac{4180}{1,006 \cdot 1,2 \cdot (20 - 15)} = 692,5, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Необходимый воздухообмен не обеспечивается.

**Пример 3.** Определите количество вентилируемого воздуха в помещении цеха, оборудованном системой общеобменной вентиляции, в котором находятся два электросварочных поста, оборудованных местными вентиляционными отсосами. При выполнении электросварочных работ источниками выделяющихся вредных веществ являются: монооксид углерода  $G_{CO} \sim 130$  г/ч и оксид азота  $G_{NO} = 90$  г/ч. Местные вентиляционные устройства сварочных постов выполнены в виде зонтов с сечением всасывающего отверстия  $F = 0,6$  м<sup>2</sup>,  $11ДК_{CO} = 20$  мг/м<sup>3</sup>,  $ПДК_{NO} = 5$  мг/м<sup>3</sup>.

*Решение.*

1. Определим количество воздуха, удаляемого одним местным вентиляционным отсосом

$$L_M = 3600 \cdot F \cdot V_{BC}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$V_{BC}$  – скорость движения воздуха в сечении всасывающего отверстия зонта, принимается равной  $0,5 \div 0,8$  м/с

$$L_M = 3600 \cdot 0,6 \cdot 0,7 = 1512 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество воздуха, удаляемого системой местной вентиляции от двух постов сварки, составит  $L_M = 3024$  м<sup>3</sup>/ч.

2. На практике местными вытяжными устройствами вентиляции вредные вещества удаляются не полностью. До 30% вредных веществ может поступать в воздушную среду помещений. Следовательно, общеобменная вентиляция в цехе должна восполнить удаляемый местными отсосами воздух и разбавить поступающие в воздушную среду загрязнения до ПДК.

Учитывая, что 30% поступления оксидов углерода и азота в помещение, а также концентрацию этих веществ, поступающих с наружным воздухом ( $ПДК_{\text{пост}} < 0,3 \cdot ПДК_{\text{раб.зоны}}$ ), т. к. забор воздуха в вентиляционную систему осуществляется в пределах промышленной площадки, на которой расположены производственные здания, определим необходимый воздухообмен по формуле (2.8).

Для разбавления оксида углерода

$$L_{CO} = \frac{0,3 \cdot G_{CO}}{ПДК_{CO} - 0,3ПДК_{CO}} = \frac{130 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{20 - 6} = 2758 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для разбавления оксидов азота

$$L_{\text{NO}} = \frac{0,3 \cdot G_{\text{NO}}}{\text{ПДК}_{\text{NO}} - 0,3\text{ПДК}_{\text{NO}}} = \frac{90 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{5 - 1,5} = 7714 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Оксид углерода и оксиды азота не являются веществами одностороннего действия, поэтому количество воздуха, необходимого для разбавления содержания вредных веществ до предельно допустимых концентраций, выбираем по веществу, требующему большего воздухообмена, т. е.  $L = 7714 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

4. Необходимый воздухообмен в помещении с учетом количества воздуха, удаляемого местными вытяжными вентиляционными

**Пример 4.** Фактическое количество воздуха, подаваемого в помещение аппаратной передающей радиостанции системой вентиляции,  $L_{\text{факт}} = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определите соответствие  $L_{\text{факт}}$  необходимому воздухообмену для данного производственного помещения при следующих условиях: средняя наружная температура воздуха  $t_{\text{нар}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ , избыточные тепловыделения в помещении  $Q_{\text{изб}} = 2500 \text{ ккал/ч}$ , оператор осуществляет наблюдение за работой оборудования по показаниям приборов.

*Решение.*

Необходимый воздухообмен определяем по формуле (2.12).

Температуру воздуха, удаляемого из помещения  $t_{\text{уд}}$ , определяем с учетом категории выполняемой работы и периода года [1]. Работу оператора можно отнести к категории «легкой» 1б (табл. П1). Период года – теплый. Нормируемая допустимая температура рабочей зоны  $21\text{--}28 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. П2). Средняя температура удаляемого воздуха  $t_{\text{уд}} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Необходимый воздухообмен равен

$$L_Q = \frac{2500}{0,24 \cdot 1,2 \cdot (26 - 21)} = 1736 \text{ м}^3/\text{ч},$$

что меньше фактического, следовательно, необходимый воздухообмен обеспечивается.

**Пример 5.** Определите количество приточного воздуха, необходимого для разбавления повышенных концентраций бензола на участке сушки печатных плат и кратность воздухообмена в помещении. Размеры помещения  $10 \times 5 \times 5,5$  м. Концентрация бензола в воздухе внутри помещения  $20 \text{ мг/м}^3$ , а в приточном воздухе равна нулю. ПДК бензола в воздухе рабочей зоны равна  $5 \text{ мг/м}$ .

*Решение.*

1. Количество бензола, выделяющегося в помещение в течение часа, определяем по формуле (2.10).

Принимая значение  $k$  равным  $1,5$ , получим

$$G = 20 \cdot 275 \cdot 1,5 = 8250 \text{ мг/ч.}$$

2. Количество приточного воздуха, необходимого для разбавления бензола до безопасных концентраций в соответствии с формулой 22, равно

$$L = \frac{G}{\text{ПДК}} = \frac{8250}{5} = 1650 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

3. Кратность воздухообмена в помещении по формуле (2.3) составит

$$K = \frac{L}{V} = \frac{1650}{275} = 6 \text{ ч}^{-1}.$$

Следовательно, количество приточного воздуха равно  $1650 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а кратность воздухообмена составляет  $6 \text{ ч}^{-1}$ .

**Пример 6.** В цехе окраски корпусов персональных ЭВМ концентрация бензола в воздухе составляет  $15 \text{ мг/м}$ . Рассчитать количество воздуха, необходимого для подачи в помещение для приведения его в соответствие с требованиями гигиенических норм по бензолу и тепловыделениям.

Объем помещения цеха  $15 \times 10 \times 5,5$  м, избытки тепла в помещении  $3000 \text{ ккал/ч}$ . Работа выполняется преимущественно стоя и связана с перемещением предметов весом не более  $1 \text{ кг}$ . Концентрация бензола в приточном воздухе равна нулю. Средняя температура наружного воздуха  $В^\circ\text{С}$ . ПДК бензола в воздухе рабочей зоны равна  $5 \text{ мг/м}^3$ .

*Решение.*

1. Для разбавления бензола до ПДК необходимое количество воздуха рассчитываем по формуле (2.8).

Общее количество бензола, поступающего в помещение в час в соответствии с формулой (2.10), равно

$$G = C_{\text{факт}} \cdot L_{K=1} \cdot k = 15 \cdot 825 \cdot 2 = 24750 \text{ мг/ч.}$$

где  $C_{\text{факт}}$  – фактическая концентрация бензола в воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup>;  $L_{K=1}$ , м<sup>3</sup>/ч – воздухообмен при кратности 1, численно равный  $V_{\text{пом}}$  – объем помещения,  $k$  – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения вредностей по объему помещения, в соответствии с [3]  $k = 2$ .

Следовательно, необходимое количество воздуха для разбавления бензола составляет

$$L = \frac{24750}{5} = 4950 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Объем воздуха, необходимый для ассимиляции избытков тепла в помещении в соответствии с формулой (2.12), равен

$$L_Q = \frac{3000}{0,24 \cdot 1,2 \cdot (20 - 15)} = 2083 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Средняя допустимая температура воздуха, для категории работ 2а и холодного периода года  $t = 20$  °С (табл. П2).

Необходимый объем подаваемого воздуха принимается по наибольшему из значений.  $L_{\text{прит}} = 4950 \text{ м}^3/\text{ч.}$

Кратность воздухообмена составит

$$K = \frac{L}{V} = \frac{4950}{825} = 6 \text{ ч}^{-1}.$$

Таким образом, необходимый объем подаваемого воздуха  $L_{\text{прит}} = 4950 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а кратность воздухообмена составит  $6 \text{ ч}^{-1}$ .

**Пример 7.** Определить потребный воздухообмен  $L_{\text{потр}}$  в помещении, если в результате технологического процесса выделяется этилен  $C_2H_2$  в количестве 1 г/ч и избыточное тепло в количестве 1400 ккал/ч. Температура приточного воздуха равна 17 °С, температура в рабочей зоне равна 24 °С. Высота вытяжных отверстий над уровнем рабочей площадки равна 3,1 м. В приточном воздухе этилен не содержится.

ПДК  $C_2H_2 = 20 \text{ мг/м}^3$ ; температурный градиент  $\Delta t = 1^\circ\text{С/м}$ .

*Решение.*

Количество приточного воздуха, необходимого для разбавления этилена до безопасных концентраций равно

$$L = \frac{1 \cdot 1000}{20} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Необходимый воздухообмен для удаления избытков тепла определяем по формуле (2.12).

Температура вытяжного воздуха  $t_{\text{выг}}$

$$t_{\text{выг}} = t_{\text{рз}} + \Delta t \cdot (H-2) = 24 + 1(3,1-2) = 25,1 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Объем воздуха, необходимый для ассимиляции избытков тепла в помещении таким образом составит

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{0,24 \cdot 1,2 \cdot (t_{\text{выг}} - t_{\text{прит}})} = \frac{1400}{0,24 \cdot 1,2 \cdot (25,1 - 17)} = 608 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Следовательно, необходимый объем подаваемого воздуха составит 608 м<sup>3</sup>/ч.

**Пример 8.** В цехе размерами 16×8×6 м установлены две линии травления печатных плат с ваннами, являющимися источниками повышенной влажности воздуха, избыточных тепловыделений, тумана серной кислоты. Влаговыведения от ванн составляют  $G = 30 \text{ кг/ч}$ , избыточные тепловыделения  $Q_{\text{изб}} = 10000 \text{ ккал/ч}$ , концентрация серной кислоты в воздушной среде помещения 1,5 мг/м<sup>3</sup> (ПДК<sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub> = 1 мг/м<sup>3</sup>). В системе вентиляции предусмотрен приток воздуха в объеме 10000 м<sup>3</sup>/ч. Определить потребный воздухообмен в цехе для теплого периода года при средней температуре воздуха в цехе  $t_{\text{ср}} = 25^\circ\text{С}$ , средней температуре наружного воздуха  $t_{\text{ср}} = 20^\circ\text{С}$  и относительной влажности воздуха 60%.

*Решение.*

1. Необходимый воздухообмен при избыточных влаговыведениях определяем по формуле (2.12). Для относительной влажности 60%  $d_{\text{выт}} = 12,14$  г.вл/кг.сух.в.;  $d_{\text{прит}}$  – влагосодержание приточного воздуха,  $d_{\text{прит}} = 8,91$  г/кг

$$L = \frac{1000 \cdot 30}{(12,4 - 8,91)} = 9288 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Необходимое количество приточного воздуха для разбавления тумана серной кислоты в соответствии с формулой (2.8)

$$L = \frac{G}{\text{ПДК}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество тумана серной кислоты  $G$ , выделяющегося в воздух помещения, определяем в соответствии с формулой (2.10).

Принимаем  $K = 2$  [3], тогда потребный воздухообмен составит:

$$L = \frac{1,5 \cdot (16 \cdot 8 \cdot 6) \cdot 2}{1}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Необходимое количество приточного воздуха для ассимиляции теплоизбытков по формуле (2.12)

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{0,24 \cdot 1,2 \cdot (t_{\text{выт}} - t_{\text{прит}})} = \frac{10000}{0,24 \cdot 1,2 \cdot (25 - 20)} = 6944 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. Так как наибольшее количество приточного воздуха требуется для разбавления влаги, то необходимый приток принимаем равным  $9288 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Следовательно, потребный воздухообмен составит  $9288 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Пример 9.** В помещении малярного цеха объемом  $V_{\text{пом}} = 2000 \text{ м}^3$  произведена разовая окраска деталей. В качестве растворителя использован бензол, в количестве  $m = 30$  г, 80% которого испарилось в процессе высыхания краски, причем 20% удаляется путем неорганизованной естественной вентиляции (через щели и неплотности в оконных и дверных проемах, через поры строительных материалов), обеспечивающей кратность воздухообмена близкую к 1. Определите количество воздуха, которое необходимо подать в помещение для того, чтобы концентрация паров бензола не превышала ПДК паров бензола в рабочей зоне помещения равной  $5 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

*Решение.*

1. С учетом удаления паров бензола путем естественной вентиляции, в помещении после испарения остается 60% всей массы бензола. Концентрация растворителя в воздухе внутри помещения  $C_{\text{пом}}$  после испарения бензола равна

$$C_{\text{пом}} = \frac{0,6 \cdot m \cdot 10^3}{V_{\text{пом}}} = \frac{0,6 \cdot 30 \cdot 10^3}{2000} = 9 \text{ , мг/м}^3.$$

2. Количества вещества, поступающего в воздух в течение часа, определяем по формуле (2.10).

$$G = C_{\text{пом}} \cdot L_{K=1} \cdot k, \text{ мг/ч}$$

где  $L_{K=1}$  – воздухообмен при кратности  $K=1$ ,  $k$  – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения вредных испарений по объему помещения,  $k = 2$  [3].

$$G = 9 \cdot 2000 \cdot 2 = 36000 \text{ мг/ч.}$$

3. Необходимое количество воздуха для подачи в помещение системой вентиляции равно

$$L = \frac{G}{\text{ПДК}} = \frac{36000}{5} = 7200 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Следовательно, потребное количество воздуха составляет  $7200 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

## **2.3. Задачи для самостоятельного решения**

**2.3.1.** Определить потребный воздухообмен  $L$  в помещении, если в результате технологического процесса выделяется ацетон в количестве 10 г/ч и избыточное тепло в количестве 2000 ккал/ч. Температура приточного воздуха равна 20 °С, температура в рабочей зоне равна 25 °С. Высота вытяжных отверстий над уровнем рабочей площадки равна 3 метра.

Примечание: 1) считать концентрацию примеси в приточном воздухе равной 0,3 ПДК; 2) ПДК ацетона равна 200 мг/м<sup>3</sup>.

**2.3.2.** Фактическое количество воздуха, подаваемое в помещение аппаратной передающей радиостанции системой вентиляции, составляет  $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Избыточные тепловыделения составляют  $4000 \text{ ккал}/\text{ч}$ . Определить соответствие фактического воздухообмена необходимому воздухообмену для данного помещения при следующих условиях: температура приточного воздуха  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура удаляемого воздуха  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**2.3.3.** В цехе объемом  $2500 \text{ м}^3$  выделяется монооксид углерода и аммиак в количестве, соответственно  $65 \text{ г}/\text{ч}$  и  $48 \text{ г}/\text{ч}$ . Найти потребный воздухообмен в цехе. Найти кратность воздухообмена. Примечание: 1)  $\text{ПДК}_{\text{CO}} = 20 \text{ мг}/\text{м}^3$ ,  $\text{ПДК}_{\text{NH}_3} = 20 \text{ мг}/\text{м}^3$ . 2) считать концентрацию каждой примеси в приточном воздухе равной  $0,3 \text{ ПДК}$ .

**2.3.4.** Какова должна быть высота цеха площадью  $350 \text{ м}^2$ , если в цехе выделяется избыточное тепло в количестве  $4300 \text{ ккал}/\text{ч}$ , аммиак в количестве  $180 \text{ г}/\text{ч}$ ? Температура воздуха на высоте вытяжки  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура приточного воздуха равна  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Приточный воздух считать свободным от аммиака. Кратность воздухообмена не должна превышать  $8 \text{ ч}^{-1}$ .  $1 \text{ ПДК}_{\text{NH}_3} = 20 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

**2.3.5.** В помещении цеха объемом  $V_{\text{пом}} = 2000 \text{ м}^3$  одновременно работает 95 человек и обеспечивается воздухообмен  $L = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Естественная вентиляция присутствует. Определите соответствие воздухообмена в помещении требованиям санитарных норм.

**2.3.6.** В цехе размерами  $15 \times 10 \times 6 \text{ м}^3$  установлено две линии травления печатных плат с ваннами, являющимися источниками избыточных тепловыделений и тумана серной кислоты. Тепловыделения от ванн составляют  $Q_{\text{изб}} = 8000 \text{ ккал}/\text{ч}$ , концентрация серной кислоты в воздушной среде помещения  $2 \text{ мг}/\text{м}^3$  ( $\text{ПДК}_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1 \text{ мг}/\text{м}^3$ ). В системе вентиляции предусмотрен приток воздуха в объеме  $12000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Оцените эффективность системы вентиляции цеха для теплого периода года при средней температуре воздуха в цехе  $t_{\text{ср}} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , средней температуре наружного воздуха  $t_{\text{ср.нар}} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$  и коэффициенте неравномерности  $K = 2$ .

**2.3.7.** Определить количество приточного воздуха, необходимого для разбавления повышенных концентраций бензола на участке сушки печатных плат и кратность воздухообмена в помещении. Размеры помещения  $20 \times 35 \times 5 \text{ м}$ . Концентрация бензола в воздухе внутри помещения  $25 \text{ мг}/\text{м}^3$ , а в приточном воздухе равна нулю. ПДК бензола в воздухе рабочей зоны равна  $5 \text{ мг}/\text{м}^3$ , коэффициент запаса  $K = 1,5$ .

**2.3.8.** Проверить, обеспечивается ли необходимый воздухообмен в помещении для наладки крупногабаритного радиоэлектронного оборудования при следующих условиях: количество тепла, поступающего в помещение от оборудования, освещения, солнечной инсоляции, людей, составляет  $Q_{\text{пост}} = 2200$  ккал/ч, а потери тепла, (через стены, оконные проемы и др.) составляют  $Q_{\text{пот}} = 500$  ккал/ч. Площадь сечения приточного воздуховода  $F = 0,55$  м<sup>2</sup>. Измеренная скорость воздуха в приточном воздуховоде  $V = 0,3$  м/с. Температура приточного воздуха  $t_{\text{прит}} = 17$  °С.

**2.3.9.** В помещении малярного цеха объемом  $V_{\text{пом}} = 1600$  м<sup>3</sup> произведена разовая окраска деталей. В качестве растворителя использован бензол, основная масса которого в процессе высыхания краски испарилась. Концентрация растворителя в воздухе внутри помещения после испарения оказалась равной 12 мг/м<sup>3</sup>. Определить количество воздуха, которое необходимо подать в помещение для того, чтобы концентрация паров бензола не превышала ПДК равную 5 мг/м<sup>3</sup>. Определить кратность воздухообмена.

**2.3.10.** Определите количество вентилируемого воздуха в помещении цеха, оборудованном системой общеобменной вентиляции, в котором находится электросварочный пост. При выполнении электросварочных работ источниками выделяющихся вредностей являются: СО – 100 г/ч и диоксид азота NO<sub>2</sub> – 70 г/ч. Оксиды углерода и азота являются веществами одностороннего действия. ПДК<sub>СО</sub> = 20 мг/м<sup>3</sup>, ПДК<sub>NO2</sub> = 2 мг/м<sup>3</sup>. В приточном воздухе концентрация вредных примесей равна 0,3ПДК.

**2.3.11.** Определить количество вентиляционного воздуха и кратность воздухообмена в помещении, в котором произошло испарение технологической жидкости – ацетона. Объем помещения  $V_{\text{пом}} = 1000$  м<sup>3</sup>. Масса испарившегося ацетона 1 кг. ПДК ацетона в воздухе рабочей зоны равна 200 мг/м<sup>3</sup>.

**2.3.12.** Рассчитать высоту цеха площадью 420 м<sup>2</sup>, если в цехе выделяется избыточное тепло в количестве 3600 ккал/ч, ацетон в количестве 130 г/ч. Температура воздуха на высоте вытяжки 26 °С, температура приточного воздуха равна 17 °С. Приточный воздух считать свободным от ацетона. Кратность воздухообмена не должна превышать 6 ч<sup>-1</sup>. ПДК ацетона = 200 мг/м.

**2.4.13.** Определить, обеспечивается ли необходимый воздухообмен в помещении для наладки оборудования при следующих условиях: количество тепла, поступающего в помещение

от оборудования, освещения, солнечной инсоляции, людей, составляет  $Q_{\text{пост}} = 4000$  ккал/ч, а потери тепла, (через стены, оконные проемы и др.) составляют  $Q_{\text{пот}} = 400$  ккал/ч. Площадь сечения приточного воздуховода  $P = 0,85$  м<sup>2</sup>. Измеренная прибором скорость воздуха в приточном воздуховоде  $V = 0,4$  м/с. Температура приточного воздуха 7 °С, температура воздуха в помещении 20 °С.

**2.3.14.** В цехе объемом 1200 м<sup>3</sup> установлено две линии травления печатных плат с ваннами, являющимися источниками повышенной влажности воздуха, избыточных тепловыделений, тумана серной кислоты. Влаговыведения от ванн составляют  $G = 25$  кг/ч, избыточные тепловыделения  $Q_{\text{изб}} = 8000$  ккал/ч, концентрация серной кислоты в воздушной среде помещения 2 мг/м<sup>3</sup> (ПДК<sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub> = 1 мг/м<sup>3</sup>). В системе вентиляции предусмотрен приток воздуха в объеме 9000 м<sup>3</sup>/ч. Определить потребный воздухообмен в цехе для теплого периода года при средней температуре воздуха в цехе  $t_{\text{ср}} = 26$ °С, средней температуре наружного воздуха  $t_{\text{ср}} = 19$  °С и относительной влажности воздуха 50%.

**2.3.15.** Определить потребный воздухообмен  $L$  в помещении, если в результате технологического процесса выделяется монооксид углерода в количестве  $G_1$  г/ч и избыточное тепло в количестве  $Q_1$  Дж/ч. Температура приточного воздуха равна 18°, температура в рабочей зоне равна  $t_1$ . Высота вытяжных отверстий над уровнем рабочей площадки равна 3 м. В приточном воздухе монооксида углерода не содержится. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 2.1. Примечание: ПДК<sub>СО</sub> = 20 мг/м<sup>3</sup>.

**2.3.16.** Оценить пригодность цеха (*т. е. соответствие фактического воздухообмена потребному*) объемом  $V$ , м<sup>3</sup> для выполнения работ, в ходе которых выделяются оксид углерода ( $G_1$ , г/ч), этилен ( $G_2$ , г/ч), аммиак ( $G_3$ , г/ч), диоксид серы ( $G_4$ , г/ч), а также избыточное тепло ( $Q$ , ккал/час). Вентиляционная система обеспечивает полную замену воздуха в цехе 5 раз в течение часа. Температура в рабочей зоне равна  $t_{\text{раб.з.}}$ , температура приточного воздуха равна  $t_{\text{прит}} = 20$  °С. Вытяжные отверстия находятся на высоте 5 м от рабочей площадки. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 2.1. Примечания: 1) ПДК<sub>1</sub> = 20 мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>2</sub> = 1 мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>3</sub> = 20 мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>4</sub> = 10 мг/м<sup>3</sup>; аммиак и диоксид серы обладают односторонним действием на организм человека (эффект суммации).

Таблица 2.1

Данные к задачам 2.3.15, 2.3.16

№	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$Q$	$t_{\text{раб.з.}}$	$V$	№	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$Q$	$t_{\text{раб.з.}}$	$V$
<b>1</b>	100	4,5	100	25	1900	25	1500	<b>18</b>	85	4,0	92	22	1900	24	1650
<b>2</b>	95	5,0	112	23	1700	25	1550	<b>19</b>	87	5,0	110	26	1850	25	1600
<b>3</b>	98	6,0	115	22	1650	23	1600	<b>20</b>	78	6,0	90	24	1750	25	1650
<b>4</b>	110	8,0	90	24	1500	25	1580	<b>21</b>	79	4,5	89	20	1650	24	1450
<b>5</b>	88	4,0	95	25	1450	23	1600	<b>22</b>	80	6,5	115	25	1550	23	1500
<b>6</b>	95	5,5	105	23	1350	25	1550	<b>23</b>	100	5,3	120	21	1800	24	1550
<b>7</b>	95	6,5	115	22	1700	25	1700	<b>24</b>	110	5,1	112	22	1900	25	1650
<b>8</b>	88	4,0	110	21	1900	25	1550	<b>25</b>	105	6,3	114	25	1500	25	1600
<b>9</b>	86	4,5	105	25	1850	24	1500	<b>26</b>	105	4,6	97	23	1700	24	1550
<b>10</b>	96	5,5	95	24	1750	24	1600	<b>27</b>	95	5,1	96	22	1650	25	1450
<b>11</b>	90	5,0	98	23	1800	24	1450	<b>28</b>	98	5,6	100	21	1750	25	1450
<b>12</b>	101	6,0	97	22	1700	25	1400	<b>29</b>	94	6,0	102	20	1800	25	1550
<b>13</b>	110	6,4	112	20	1650	24	1700	<b>30</b>	91	5,5	113	24	1900	25	1500
<b>14</b>	115	5,1	115	25	1600	22	1650	<b>31</b>	90	4,5	93	20	1850	25	1500
<b>15</b>	95	4,6	106	23	1550	24	1450	<b>32</b>	103	6,0	99	25	1650	23	1600
<b>16</b>	120	9,0	100	25	2000	23	1600	<b>33</b>	88	5,0	110	21	1900	25	1900
<b>17</b>	100	8,0	90	23	1600	24	1550	<b>34</b>	75	6,0	90	24	1500	25	1400

Таблица 2.2

## Зависимость плотности воздуха от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$						
-50	1,584	20	1,205	150	0,835	600	0,404
-45	1,549	30	1,165	160	0,815	650	0,383
-40	1,515	40	1,128	170	0,797	700	0,362
-35	1,484	50	1,093	180	0,779	750	0,346
-30	1,453	60	1,06	190	0,763	800	0,329
-25	1,424	70	1,029	200	0,746	850	0,315
-20	1,395	80	1,000	250	0,674	900	0,301
-15	1,369	90	0,972	300	0,615	950	0,289
-10	1,342	100	0,946	350	0,566	1000	0,277
-5	1,318	110	0,922	400	0,524	1050	0,267
0	1,293	120	0,898	450	0,49	1100	0,257
10	1,247	130	0,876	500	0,456	1150	0,248
15	1,226	140	0,854	550	0,43	1200	0,239

## Контрольные вопросы

1. Что такое воздухообмен, в каких единицах он измеряется?
2. На чем основано применение вентиляции для нормализации воздушной среды при выделении вредных веществ?
3. На чем основано применение вентиляции для нормализации воздушной среды при выделении избыточного тепла?
4. Какое требование должно выполняться, если в воздухе присутствуют вредные вещества независимого действия?
5. Какое требование должно выполняться, если в воздухе присутствуют вредные вещества однонаправленного действия?
6. Как определяется требуемый воздухообмен, если в воздухе присутствуют несколько веществ независимого действия?
7. Как определяется требуемый воздухообмен, если в воздухе присутствуют несколько веществ однонаправленного действия?
8. Что такое кратность воздухообмена?
9. Как определить необходимый воздухообмен в помещении, где находятся люди, но других источников выделения вредных веществ, избыточного тепла и влаги нет?
10. Как окончательно определить необходимый воздухообмен, если в помещении работают люди, выделяются вредные вещества и избыточное тепло?

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Для различных светотехнических расчетов используется ряд базовых характеристик, к которым относятся:

– световой поток  $F$  – мощность потока лучистой энергии, оцениваемая по производимому световому ощущению; единица измерения – люмен (лм);

– сила света  $I$  – отношение светового потока к телесному<sup>1</sup> углу, в котором он излучается; единица измерения – кандела (кд);

– освещенность  $E$  – отношение падающего на поверхность светового потока к площади, по которой он распространяется; единица измерения – люкс (лк).

Важной эксплуатационной характеристикой ламп, а также светильников относится коэффициент светотдачи  $\Psi = F/W$  [лм/Вт].

#### 3.1. Нормирование искусственного освещения

Нормируемыми параметрами искусственного освещения являются прежде всего горизонтальная освещенность рабочей поверхности  $E_H$  (количественная характеристика). К качественным характеристикам относится коэффициент пульсации светового потока  $K_p$ , цилиндрическая освещенность, которая показывает общую светонасыщенность помещений, а также объединенный показатель дискомфорта  $UGR$  (критерий оценки дискомфорта блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения).

Для промышленных зданий существует восемь разрядов зрительной работы с установлением определенного нормированного значения освещенности. Эти значения с ростом минимального эквивалентного размера объекта различения понижаются с первого до восьмого (простое наблюдение за ходом процесса). Первые 5 разрядов имеют подразряды в зависимости от контраста объекта с фоном, яркости фона (коэффициента отражения фона). Для общественных и жилых зданий число разрядов равно семи (А, Б, В, Г, Д, Ж, З).

---

<sup>1</sup> Телесный угол – часть пространства, заключенная внутри конической поверхности. Измеряется отношением площади, вырезаемой им из сферы произвольного радиуса к квадрату этого радиуса. Единица измерения – стерадиан (ср).

Для оценки естественного освещения нельзя непосредственно использовать значение освещенности, поскольку освещенность, которая создается при естественном освещении, может меняться в широких пределах в зависимости от времени года, времени дня, а также метеорологических факторов. Для естественного освещения нормируется *относительная величина* – коэффициент естественной освещенности (КЕО). Коэффициент естественной освещенности – это отношение, равное отношению освещенности в некоторой точке внутри помещения к наружной освещенности создаваемой небесной полусферой и выражается в процентах

$$\text{КЕО} = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100\%. \quad (3.1)$$

Разумеется, в разных точках помещения КЕО будет иметь разное значение. При одностороннем боковом освещении нормируется КЕО в точках, отстоящих от противоположной оконным проемам стены на 1 м.

Часто на рабочих местах искусственная освещенность бывает недостаточной. Это происходит из-за неправильного проектирования системы освещения, определения количества светильников «на глаз», в то время как система освещения должна быть правильно рассчитана исходя из *необходимости обеспечения нормированного значения освещенности*, которое устанавливается в зависимости от разряда зрительной работы. Существуют и особые требования к ряду помещений. Так, например, в аудиториях образовательных учреждений должна обеспечиваться горизонтальная освещенность равная 400 лк.

При расчете искусственного освещения применяются три метода: метод удельной мощности, носящий упрощенный, оценочный характер, метод коэффициента использования светового потока и точечный метод. Последний метод является универсальным.

## 3.2. Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Метод применяется для расчета общего освещения горизонтальной рабочей поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком, и дает возможность определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной нормированной освещенности. Необходимо помнить, что основной количественной характеристикой условий зрительной работы является горизонтальная освещенность  $E$ , которая является нормируемой, а светотехническими характеристиками искусственных источников света являются их *номинальный световой поток  $F$ , сила света  $I$  и кривая силы света КСС*.

Основное уравнение метода

$$F = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

где  $F$  – световой поток лампы, лм;  $E_n$  – минимальная нормируемая освещенность;  $K$  – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности вследствие старения ламп, запыления и загрязнения светильников ( $K = 1,2 \dots 1,5$ );  $S$  – площадь помещения;  $z$  – отношение средней освещенности к минимальной; для люминесцентных ламп принимается  $z = 1.1$ ;  $N$  – число светильников;  $n$  – число ламп в светильнике;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока (в процентах), т. е. отношение потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп.

Коэффициент использования светового потока определяется в зависимости от величины индекса помещения  $i$ , коэффициентов отражения пола  $\rho_{\text{пол}}$ , потолка  $\rho_{\text{пот}}$  и стен  $\rho_c$  и, а также типа светильника по КСС<sup>2</sup> (табл. ПЗ) по формуле:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (3.3)$$

где  $h$  – расчетная высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;  $a$  и  $b$  – основные размеры (длина и ширина) помещения, м.  $h = H - h_{\text{рп}} - h_c$ , где  $H$  – высота помещения,  $h_{\text{рп}}$  – высота рабочей поверхности,  $h_c$  – высота свеса светильника (рис. 3.1).

---

<sup>2</sup> КСС (кривая силы света) – это график зависимости силы света светового потока от меридиональных и экваториальных углов излучения. КСС подразделяются на семь типов: концентрированная К 30°, глубокая Г 60°, косинусная Д 120°, полуширокая Л 140°, широкая Ш 160°, равномерная М 90°, синусная С 180°, С-М 230°.

Поскольку в настоящее время светильники выпускаются с лампами определенного типа, а также все большее распространение получают светодиодные источники света, световой поток часто указывается для светильника в целом (табл. 3.1). В этом случае в формуле (3.2) достаточно использовать значение  $N$  – число светильников.

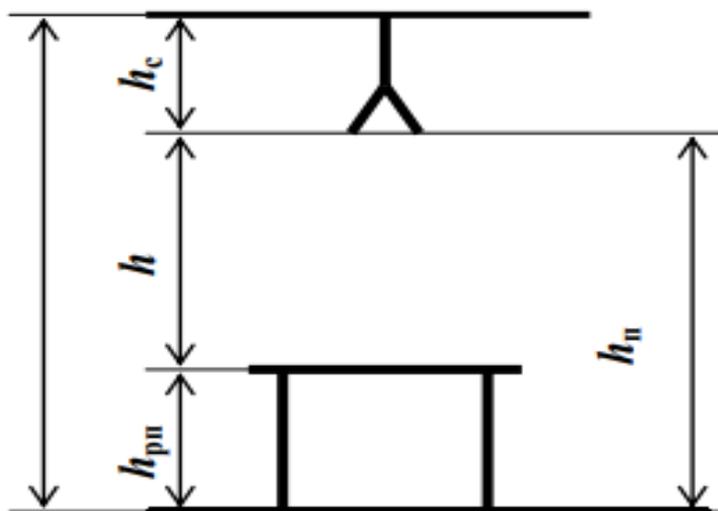


Рис. 3.1. К расчету высоты подвеса светильника

При размещении рядами светильников с люминесцентными лампами рекомендуется расстояние между ними в ряду устанавливать равным  $l/3$ , где  $l$  – длина светильника. При этом коэффициент неравномерности освещения  $\lambda$  должен удовлетворять условию  $\lambda = L/h \leq 1,4$ , где  $L$  – максимальное расстояние между осями светильников (рядами). Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным 0,5–0,8 м.

Наилучшими вариантами равномерного размещения светильников являются шахматное и размещение по сторонам квадрата (расстояния между светильниками в ряду и между рядами светильников равны), однако для освещения цехов иногда применяют размещение светильников рядами, в так называемую «световую линию».

На рис. 3.2 и 3.3 приведены возможные схемы размещения светильников с лампами накаливания и люминесцентными лампами. Получающиеся в настоящее время все большее распространение светодиодные светильники размещаются по той или другой схеме в зависимости от формы светильника.

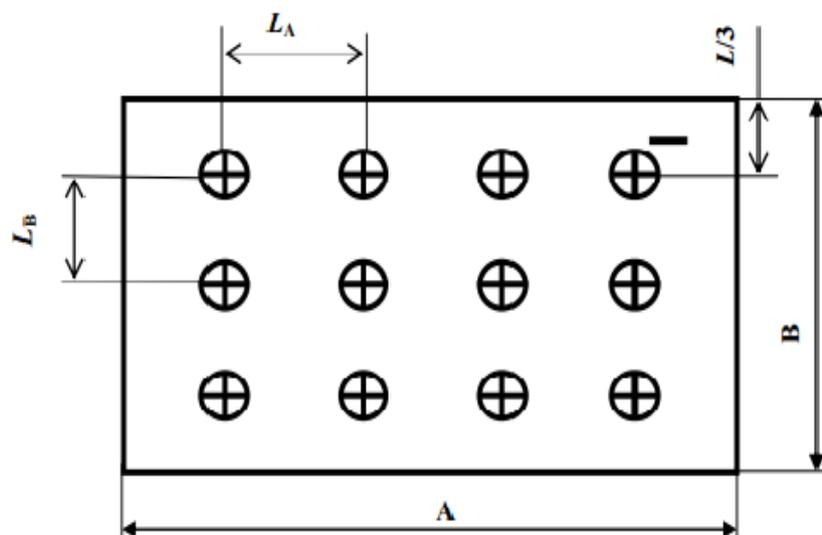


Рис. 3.2. Схема размещения светильников с лампами накаливания и круглых в плане светодиодных светильников

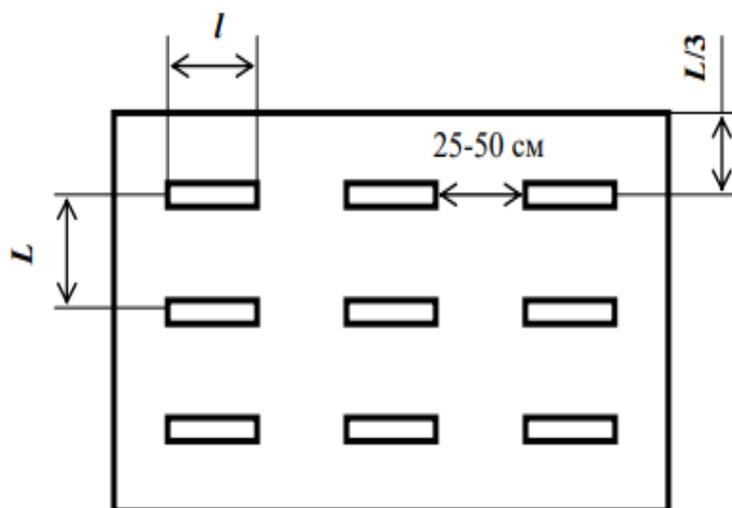


Рис. 3.3. Схема размещения светильников с люминесцентными лампами или прямоугольных

### 3.3. Виды искусственных источников света

Искусственные источники света, или лампы, применяемые в настоящее время, – это лампы накаливания, галогенные лампы, дуговые ртутные лампы, люминесцентные лампы, светодиоды.

**Лампы накаливания.** Основными достоинства ламп накаливания – невысокая цена, удобство и простота эксплуатации, практически полное отсутствие пульсации излучаемого ими светового потока. К недостаткам этого типа световых источников можно отнести: низкую световую отдачу, малый срок службы,

высокую чувствительность к колебаниям напряжения. Сегодня лампы накаливания вытесняются другими источниками света, в основном потому, что из-за низкой эффективности потребляют много электроэнергии.



**Галогенная лампа** – это фактически та же лампа накаливания, но в отличие от предыдущей в колбе не вакуум, а пары галогенов (фтора, брома или йода). Это повышает срок службы лампы, позволяя при этом одновременно повысить температуру спирали и в широких диапазонах варьировать цветопередачу.

**Дуговая ртутная люминесцентная лампа (ДРЛ).** Лампы типа ДРЛ выпускаются мощностью 80, 125, 250, 400, 700, 1000 Вт. Их светотдача около 40 Лм/Вт, срок службы – 10000 часов.

ДРЛ широко используют в общем освещении улиц, промышленных цехов и территорий. К недостаткам ламп ДРЛ следует отнести интенсивное образование озона при их горении. Включение ламп в сеть осуществляют при помощи специальных пускорегулирующих устройств. Сам процесс включения ламп ДРЛ сопровождается большим пусковым током. Полное зажигание может занять 7 и более минут, а для повторного ее включения потребуется остудить лампу, выдержав ее незажженной в течение 10–15 минут. ДРЛ обладают высоким коэффициентом пульсации. Кроме этого ДРЛ имеют еще целый ряд недостатков, наиболее существенным из которых является высокая концентрация паров ртути в лампе ДРЛ (от 0,2 до 0,9 мг) достаточна для отравления людей при случайном повреждении колбы в закрытом помещении.

**Люминесцентная лампа** – это тоже газоразрядный источник света, но низкого давления, в котором электрический разряд в парах ртути создает ультрафиолетовое излучение, преобразующееся в видимый свет с помощью люминофора – смеси фосфора с другими элементами. Световая отдача находится в диапазоне 40...100 Лм/Вт, т. е. в несколько раз больше, чем у ламп накаливания той же мощности. В последнее время они широко используются также в качестве так называемых энергосберегающих ламп. Существенным недостатком люминесцентных ламп является проблема их утилизации, поскольку они содержат ртуть.



**Светодиодные источники света.** Светодиоды отличаются прежде всего низким потреблением электроэнергии, В основе светодиодной технологии лежит совершенно иной принцип излучения. Светодиоды отличает высокая степень цветопередачи, близкая к естественной. Их световая отдача может быть в диапазоне 10...200 Лм/Вт, срок службы 80000 ...100000 часов. Светодиодные лампы экологически и пожаробезопасны. Они не содержат в своем составе ртути и почти не нагреваются. Кроме сравнительно высокой цены какие-либо иные недостатки у светодиодных источников света не выявлены. В настоящее время эти источники представляются наиболее эффективными.

При выборе светильников рекомендуется также учитывать цветовую температуру источника света, так как от этого зависит определенный цветовой «климат» в помещении.

Градация цветов в зависимости от цветовой температуры приведена на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Цветовая температура

В настоящее время выпускаются светильники с уже определенными типами ламп (люминесцентными и светодиодными), причем многие бытовые светильники не рассчитаны на замену ламп, так как последние не выпускаются отдельно от светильников. В силу этого световой поток указывается уже не для отдельной лампы, а для светильника в целом, как это приведено в табл. 3.1, содержащей светотехнические и эксплуатационные характеристики современных светильников, предлагаемых для освещения производственных и общественных зданий.

Таблица 3.1

## Характеристики светильников

Марка светильника		Вид источника света	Размеры, мм	Световой поток $F$ , лм	Цветовая температура, °К	Мощность $W$ , Вт	Тип КСС	Цена, руб.	Прим.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛВО 4×18-CSVT 595×595		Л	595×595×80	3280	4000	72	Д	984	Предназначен для общественных и административных зданий. 4 лампы
Camelion WL-4002 (NL-2004B)		Л	390×23×43	720	2700 6400	12	Д	709	Предназначен для общественных и административных зданий. 1 лампа
TDM ЛПО 2004B 16Вт SQ0327-0026		Л	497×21×43	800	4000	16	Д	322	Предназначен для общественных и административных зданий. 1 лампа

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TDM ЛПО 2004A SQ0305- 0117		Л	397 ×44 ×22	430	Более 5000 (холодный белый)	8	Д	221	Предназначен для общес- твенных и ад- министратив- ных зданий. 1 лампа
Армстронг WOLTA 36 4000К ULPD36W60		СД	595×595×25	3000	4000	60	Д	600	Является экономичным и безопасным аналогом ЛВО 4×18-CSVT 595×595
Армстронг 40W-4800Lm		СД	595x595x40	4800	3000/ 4000/ 5000/ 6000	40	Д	1380	Предназначен для замены стандартных светильников на люмине- сцентных лампах серии ЛВО 4×18.
Айсберг 40W- 5000Lm IP65		СД	1262×124×85	5000	4000/ 6000	40	Д	1290	Предназначен для общественных, административ- ных и промыш- ленных зданий

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Айсберг 58W-7250Lm IP65		СД	1262×124×85	7250	4000/ 6000	58	Д	1690	Предназначен для общественных, административных и промышленных зданий
Айсберг Мини 20W-2500Lm IP 65		СД	640×110×80	2500	6000/ 6500	20	Д	790	Для освещения цехов, промышленных объектов, производственных помещений, складов.
Слимлайт 40W-5000Lm		СД	1230×66×65	5000	4000/ 6000	40	Д	1780	Для общественных, административных и промышленных зданий
Кристалл 40W-5000Lm		СД	1230×145×50	5000	4000/ 6000	40	Д	1290	Для общественных, административных и промышленных зданий

Окончание табл. 3.1

Сапфир 50W-6500Lm		СД	360×215×110	6500	5000/ 5500	50	Д	7950	Для освещения цехов, промышленных объектов и т. п. Высокая степень защиты от факторов ОС
Сапфир 100W-13000Lm		СД	510×215×110 мм	13000	5000/ 5500	1000	Д	10990	Для освещения цехов, промышленных объектов и т. п. Высокая степень защиты от факторов ОС
Купольный светильник 50W-5000Lm		СД	430×310	5000	6000	50	Г	2990	Для освещения цехов, промышленных объектов и т. п.

**Примечание:** Л – люминесцентный, СД – светодиодный, тип КСС: Г – глубокая, Д – косинусная.

### 3.4. Задачи для самостоятельного решения

**3.4.1.** Какая горизонтальная освещенность создается в помещении площадью  $50 \text{ м}^2$  системой общего искусственного освещения, состоящей из 24 лампы со световым потоком 2200 лм каждая? Коэффициент использования светового потока равен 0,5; коэффициент запаса 1,5; коэффициент неравномерности освещения 1,1.

**3.4.2.** Определить фактическое значение КЕО для сравнения с нормативным для помещения с боковой односторонней системой естественного освещения, в котором естественная освещенность, измеренная в центре комнаты, составляет 800 лк; естественная освещенность, измеренная в 1 м от стены, противоположной плоскости световых проемов составляет 500 лк. Наружная освещенность в момент измерений составляет 6000 лк.

**3.4.3.** Определить световой поток лампы ЛТБ-40, имеющей коэффициент светотдачи 55 лм/Вт.

**3.4.4.** Последние две цифры маркировки люминесцентных ламп обозначают их мощность. Какую из приведенных ламп следует выбрать, если руководствоваться критерием энергосбережения: ЛДЦ-80 с коэффициентом светотдачи 34 лм/Вт; ЛД-80 с коэффициентом светотдачи 43 лм/Вт; ЛХБ-80 с коэффициентом светотдачи 48 лм/Вт; ЛБ-80 с коэффициентом светотдачи 54 лм/Вт?

**3.4.5.** Определить коэффициент светотдачи ламп ЛВО  $4 \times 18\text{-CSVТ } 595 \times 595$ , Армстронг WOLTA 36 4000K ULPD36W60, Сапфир 50W-6500Lm, Айсберг 40W-5000Lm IP65 (см. табл. 3.1).

**3.4.6.** Важной эксплуатационной характеристикой ламп является срок службы. Как было сказано выше, недостатком люминесцентных ламп является проблема их утилизации. Рассчитайте годовое количество отработанных ртутных, люминесцентных ламп, ртутьсодержащих трубок и брака, образующегося на предприятии, которое использует для освещения люминесцентные лампы. Всего на предприятии установлено 1200 ламп, из них 870 ламп горят 12 ч./сут. 260 дней в году, остальные – 24 ч./сут. 365 дней в году. Вес одной лампы 220 г, эксплуатационный срок службы 1200 ч.

**3.4.7.** Произвести расчет искусственного общего (люминесцентного) освещения методом коэффициента использования светового потока в помещении, где проводятся работы, соответствующие разряду X (см. таблицу данных по вариантам).

Выбрать подходящий светильник. Размеры помещения: длина  $a$  м, ширина  $b$  м, высота подвеса светильника  $h$  м, коэффициенты отражения пола, стен и потолка  $\rho_{\text{пол}}$ ,  $\rho_{\text{с}}$  и  $\rho_{\text{п}}$ . Данные для расчета приведены в табл. 3.2. Значения коэффициента использования светового потока в зависимости от индекса помещения, коэффициентов отражения и кривых силы света для светильников с КСС типа Д и К приведены в табл. 3.1. Нормируемые значения показателей освещения приведены в табл. П4 и П5.

**Порядок выполнения задания.** Занятие носит проектный характер. Для расчета *задаются* число выбранных светильников  $N$  в соответствии с размерами помещения и условием равномерности освещения. Для этого вначале следует в масштабе вычертить план помещения и разместить на плане светильники. **В качестве рекомендации** при небольшой высоте помещения (до 4 м) можно основываться на приблизительном соотношении: 1 светильник на  $4 \text{ м}^2$  площади помещения.

Можно также использовать другой подход, определяя минимальное число светильников по максимальному значению светового потока из табл. П5, используя формулу (3.2).

Затем из таблицы нормативов П5 или П6 определяют значение требуемой освещенности и по формуле (3.2) подсчитывают требуемый световой поток лампы. После этого по табл. 3.1 подбирают светильник, обеспечивающий полученное значение светового потока или же, в случае заменяемых ламп, ближайшую стандартную лампу с соответствующим значением номинального светового потока.

Значения коэффициента использования светового потока (%) в табл. П3 находятся на пересечении соответствующих строк (значения индекса помещения  $i$ ) и столбцов (коэффициенты отражения  $\rho_{\text{пол}}$ ,  $\rho_{\text{пот}}$ ,  $\rho_{\text{с}}$ ).

В практике допускаются отклонения светового потока выбранной лампы от расчетного до  $-10$  и  $+20\%$ . Если потребное значение светового потока лампы велико, и в табл. 3.1 нет подходящего светильника, значит надо задать большее число светильников и повторить расчет.

**Требования к выполнению задания 3.4.7:** 1) рисунок с указанием размеров помещения, расстоянием между светильниками; 2) расчеты с пояснениями, ссылками на таблицы, нормативные документы, указание размерностей величин.

Таблица 3.2

## Исходные данные к заданию

№	Разряд зрительной работы $X$	Тип здания	Длина помещения $a$ , м	Ширина (глубина) помещения $b$ , м	Высота подвеса светильника $h$ , м	$\rho_{\text{пол}}$	$\rho_{\text{с}}$	$\rho_{\text{пот}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A – очень высокой точности	О	8	5	2,15	30	50	70
2	II – очень высокой точности	П	4	3	3	30	50	70
3	B – средней точности	О	5	4	3	10	30	50
4	V – малой точности	П	6	5	3,5	10	30	50
5	VI – грубая	П	7	5	3,5	10	50	70
6	III – высокой точности	П	8	6	4	30	50	70
7	I – наивысшей точности	П	9	8	4	30	50	70
8	A – очень высокой точности	О	10	7	3	30	50	70
9	VI – грубая	П	11	8	5	10	30	50
10	IV – средней точности	П	14	12	5,5	10	30	50
11	II – очень высокой точности	П	16	13	3	30	50	50
12	B – средней точности	О	18	14	3	10	50	70
13	V – малой точности	П	20	15	5,5	10	50	70
14	IV – средней точности	П	22	16	6	30	50	70
15	I – наивысшей точности	П	7	6,5	2,5	30	50	70
16	B – высокой точности	О	6	5	3	10	30	70
17	B – средней точности	О	7	4	4	10	30	70
18	A – очень высокой точности	О	15	10	4,2	30	50	70
19	III – высокой точности	П	12	12	5,5	30	50	70
20	B – высокой точности	О	6	3	3,15	30	50	70
21	B – высокой точности	О	6,5	4	2,7	30	50	70
22	B – средней точности	О	8	6	3	10	30	50
23	V – малой точности	П	9	12	3,2	10	30	50
24	VI – грубая	П	10	7	3,5	10	50	70
24	B – высокой точности	О	8	5	2,15	30	50	70
25	III – высокой точности	П	10	10	2,8	10	30	50
26	II – очень высокой точности	П	12	10	3,5	30	50	50
27	B – средней точности	О	18	12	3,5	10	50	70
28	V – малой точности	П	20	15	5	10	50	70
29	III – высокой точности	П	8	6	3	30	50	70

1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	III – высокой точности	П	8	6	3	30	50	70
30	I – наивысшей точности	П	9	8	3	30	50	70
31	A – очень высокой точности	О	10	7	2,7	30	50	70
32	III – высокой точности	П	8	6	3,2	30	50	70
33	II – очень высокой точности	П	9	8	3	30	50	70
34	A – очень высокой точности	О	5	3,5	2,8	30	50	70

**Примечания:**

- 1) П – производственное здание, О – общественное здание;
- 2) для производственных зданий нормативное значение освещенности брать в 9-м столбце (системы общего освещения);
- 3) если неизвестен подразряд зрительной работы для производственного помещения, разрешается выбирать любой, но предпочтительнее тот, что требует более высокой освещенности;
- 4) для общественных зданий при определении подразряда считать время зрительной работы более 70%;
- 5) если значение индекса помещения находится в промежутке между табличными значениями, *рекомендуется* брать коэффициент использования светового потока, соответствующий *меньшему* значению индекса.

**Контрольные вопросы**

1. Назовите количественные характеристики освещения (определения, единицы измерения).
2. Назовите качественные характеристики освещения.
3. Естественное освещение. Нормируемая характеристика (определение, формула).
4. В каких точках помещения нормируется характеристика естественного освещения при боковом одностороннем освещении?
5. Искусственное освещение. Нормируемые характеристики.
6. Какие факторы учитываются при нормировании характеристик искусственного освещения?
7. Чем определяются разряды и подразряды зрительной работы?
8. В чем заключается метод коэффициента использования светового потока?
9. Электрический светильник (определение, виды). Назовите основные характеристики современных светильников.
10. Назовите источники искусственного освещения, используемые в настоящее время (виды, достоинства, недостатки).

## 4. ШУМ. АКУСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Шум как физический процесс представляет собой колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газообразных, жидких и твердых средах.

Колебания в диапазоне частот 16–20 кГц могут восприниматься ухом человека как звуки. Колебания с частотой менее 16 Гц – инфразвуки – и с частотой более 20 кГц – ультразвуки – находятся за пределами слышимых человеком звуков.

**Громкость звука** – субъективное восприятие силы звука (абсолютная величина слухового ощущения). Громкость главным образом зависит от звукового давления и частоты звуковых колебаний. Уровень громкости звука выражается в фонах и численно равна уровню звукового давления в дБ), создаваемого синусоидальным тоном частотой 1 кГц такой же громкости, как и измеряемый звук.

Зависимость уровня громкости от звукового давления и частоты предьявлена на рис. 4.1.

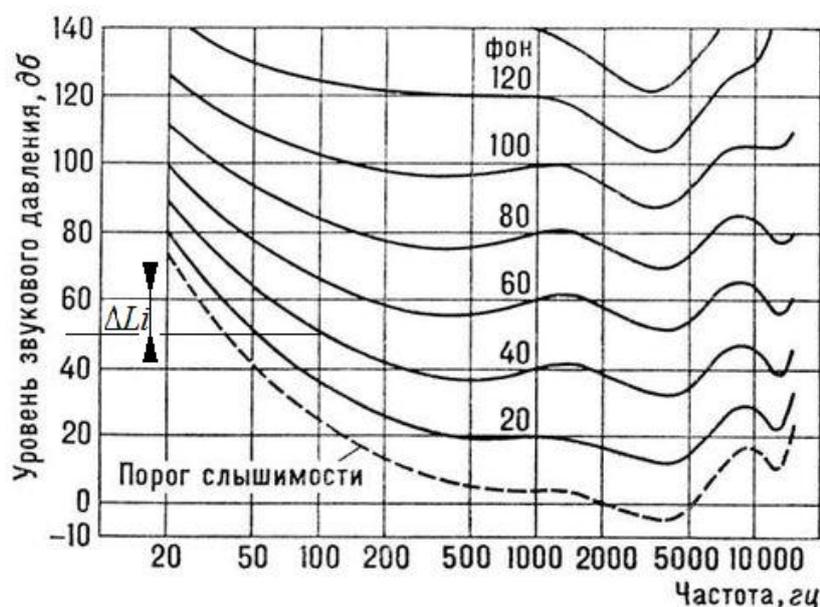


Рис. 4.1. Кривые равной громкости

Ухо человека и датчики измерительной аппаратуры реагируют на звуковое давление, поэтому в практике акустических измерений и гигиенических оценок для количественной характеристики шума используют именно эту величину.

**Звуковое давление  $P$**  – это разность между мгновенным значением давления в данной точке среды при прохождении через эту точку звуковых волн и средним давлением, которое наблюдается в этой же точке при отсутствии звука. Единицей измерения звукового давления является Паскаль (Па).

При распространении звуковой волны происходит перенос энергии, количественно оценить которую можно, используя такие параметры как мощность и интенсивность звука.

**Мощность звука  $W$**  – это общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в единицу времени. Единицей измерения мощности является Ватт (Вт).

**Интенсивность звука  $I$**  – это количество звуковой энергии, переносимое звуковой волной в единицу времени через единицу поверхности, расположенную перпендикулярно направлению распространению звука. Единицей измерения интенсивности является  $\text{Вт/м}^2$ .

Органы слуха человека способны воспринимать звуковые колебания в очень широких диапазонах изменения интенсивностей, звуковых давлений, частоты. Максимальная чувствительность слуха приходится на частоты 1–5 кГц. Частота звука в 1 кГц принята за эталонную при гигиеническом нормировании. Порогу чувствительности «среднего» человеческого уха (порог слышимости) соответствуют значения  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па;  $I_0 = 10^{-12}$   $\text{Вт/м}^2$ .

**Октава** – отрезок полосы частот, верхняя граница которого в два раза больше нижней. При измерении и нормировании шума используются среднегеометрические частоты октавных полос  $f = \sqrt{f_H \cdot f_B}$ , где  $f_H$  и  $f_B$  нижняя и верхняя октавные частоты.

**Спектр шума** – распределение уровней звукового давления по частотам.

При оценке и нормировании шума пользуются логарифмическими величинами – уровнями звукового давления  $L$ , уровнями интенсивности шума  $L_I$ , уровнями мощности, измеряемыми в специальных безразмерных единицах – децибелах (дБ). Для оценки шума с учетом неодинаковой чувствительности слухового анализатора на разных частотах (см. рис. 4.1) используется так называемый *уровень звука*, измеряемый в дБА.

«А» – это специальный режим прибора для измерения шума – шумомера, в котором его чувствительность соответствует

характеристике слухового анализатора человека. В режиме «А» (частотной характеристики «А») измерения уровня звукового давления на разных среднегеометрических октавных частотах корректируются в меньшую или бóльшую сторону и затем складываются.

#### 4.1. Основные акустические зависимости и примеры расчета

Выражения, связывающие значения интенсивности, звукового давления и мощности с их логарифмическими уровнями, имеют вид:

$$L_J = 10 \lg \frac{J}{J_0}, \quad (4.1)$$

$$L_J = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (4.2)$$

$$L_J = 10 \lg \frac{W}{W_0}, \quad (4.3)$$

где  $J_0$ ,  $P_0$ ,  $W_0$  – значения интенсивности, звукового давления и мощности, соответствующие нижнему порогу слышимости.

Рассмотрим возможные задачи, возникающие при оценке шума и разработке мероприятий по снижению шума и методики их решения. К таким задачам относятся:

- расчет эквивалентного уровня звука для непостоянного шума;
- определение уровня шума в заданной точке (также при наличии нескольких источников);
- расчет шума в жилой застройке;
- расчет средств защиты от шума (звукоизоляции и звукопоглощения).

Ниже приводятся методики этих расчетов.

**Расчет эквивалентного уровня звука.** Непостоянный шум, т. е. шум, уровень звука которого за исследуемый промежуток времени (обычно 8 ч.) изменяется более чем на 5 дБ, оценивается по эквивалентному уровню звука  $L_{\text{экв}}$  (ГОСТ 12.1.003-83 с дополнениями 1989 г.).

Фактическое значение  $L_{\text{ЭКВ}}$  рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \left( \frac{1}{100} \sum (\tau_i \cdot 10^{0,1L_i}) \right), \quad (4.4)$$

где  $\tau_i$  – относительное время воздействия шума класса  $i$  в % от времени измерения,  $L_i$  – уровень звука класса  $i$ .

**Расчет уровня интенсивности шума на расстоянии от источника и при наличии нескольких источников.** При акустических расчетах следует иметь в виду, что логарифмический уровень среднеквадратического звукового давления на частоте 1000 Гц при нормальных атмосферных условиях численно равен уровню интенсивности шума. Уровень интенсивности шума от каждого источника при распространении в свободном звуковом поле (вне помещений) определяется по формуле:

$$L_J = L_W + 10 \lg \Phi + 10 \lg \left( \frac{S_e}{\Omega \cdot r^2} \right) - e_\delta, \quad (4.5)$$

где  $S_e$  – единичная площадь ( $1 \text{ м}^2$ ),

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0}, \quad (4.6)$$

где  $L_w$  – уровень звуковой мощности источника по паспорту;  $e_\delta$  – величина затухания на расстоянии  $r$ , равная  $e_\delta = \delta_0 \cdot r$ ,  $\delta_0$  [дБ/км] – коэффициент затухания, зависящий от частоты и влажности воздуха; его значения берутся из табл. 4.1;  $\Phi$  – фактор (коэффициент) направленности шума

$$\Phi = \frac{J_\varphi}{J_{\text{ср}}}, \quad (4.7)$$

$$J_{\text{ср}} = \frac{W}{\Omega \cdot r^2}, \quad (4.8)$$

где  $\Omega$  – пространственный угол излучения шума.

Фактор направленности  $\Phi$  показывает отношение интенсивности звука  $J_\phi$ , создаваемого источником в некоторой точке в направлении  $\phi$  к интенсивности  $I_{ср}$ , которую развил бы в этой же точке ненаправленный источник, имеющий ту же звуковую мощность и излучающий звук во все стороны равномерно. Если шум ненаправленный, то  $\Phi = 1$ .

Иногда формула приводится в виде

$$L_J = L_W + 10\lg\Phi - 20\lg R - 10\lg(\Omega) - e_\delta. \quad (4.9)$$

Величина пространственного угла излучения шума зависит от расположения источника шума в пространстве. Так, при расположении источника на полу  $\Omega = 2\cdot\pi$ , при расположении на высоте над уровнем пола, когда шум распространяется в воздухе во всех направлениях,  $\Omega = 4\cdot\pi$ , в двугранном угле, образованном названными поверхностями –  $\Omega = \pi$ , в трехгранном угле –  $\Omega = \pi/2$ .

Таблица 4.1

Снижение шума в воздухе

Относительная влажность воздуха, %	Среднегеометрические частоты октавных полос						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	0,8	1,5	3,8	12,1	40	109	196
40	0,4	1,3	2,8	4,9	11	34	120
80	0,2	0,9	2,7	5,5	9,7	21	66

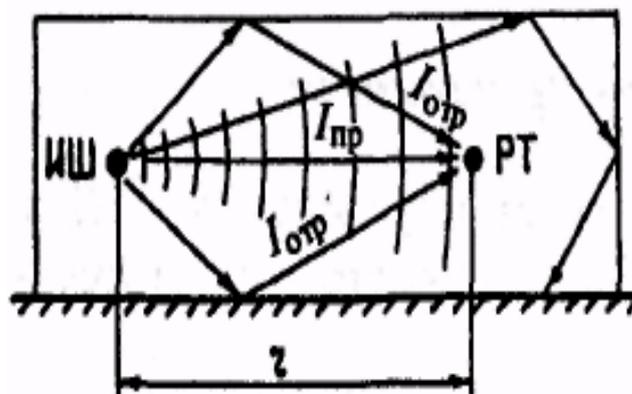


Рис. 4.2. Распространение шума в помещении:

$I_{пр}$  – прямой шум,  $I_{отр}$  – отраженный шум

**Распространение шума в помещении.** Помещение следует рассматривать как замкнутый объем. Шум в замкнутом объеме определяется свойствами пространства и свойствами помещения. В пространстве область распространения звука расширяется, звук затухает, а стены помещения отражают звуковую волну, таким образом, шум в замкнутом объеме определяется сложением прямого и отраженного звуковых полей (см. рис. 4.2).

Уровень звукового давления (Дб) при этом определяется как

$$L_{\text{пом}} = L_W + 10 \lg \left( \frac{\chi \cdot \Phi}{\Omega \cdot r^2} + \frac{4\Psi}{B_{\text{пом}}} \right), \quad (4.10)$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий размеры источника, определяется по графику (рис. 4.4),  $\psi$  – коэффициент, учитывающий характер звукового поля в помещении и зависящий от отношения  $R/l_{\text{max}}$ , где  $R$  – расстояние от акустического центра (рис. 4.4).

Акустическая постоянная помещения  $B$  определяется по формуле

$$B = \frac{\alpha_{\text{пом}} S_{\text{огр}}}{(1 - \alpha_{\text{пом}})}, \quad (4.11)$$

$$\alpha_{\text{пом}} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{S_{\text{огр}}} \quad (4.12)$$

где  $\alpha_{\text{пом}}$  – средний коэффициент звукопоглощения в помещении,  $S_{\text{огр}}$  – суммарная площадь поверхностей, ограждающих помещение,  $\text{м}^2$ ,  $\alpha_i$  – коэффициент поглощения  $i$ -й ограждающей поверхности берется по справочным данным.

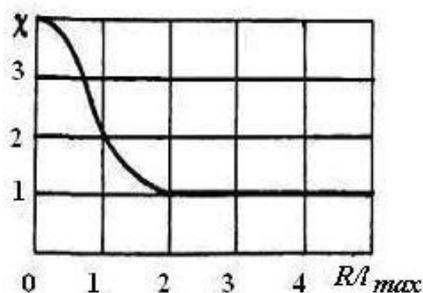


Рис. 4.3. Зависимость коэффициента  $\chi$  от отношения расстояния  $R$  от рабочего места до акустического центра источника шума к максимальному линейному размеру источника  $l_{\text{max}}$

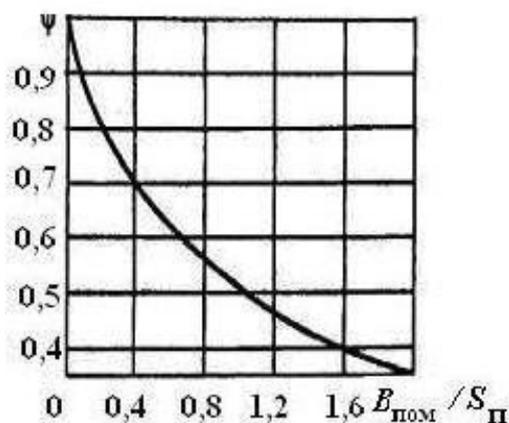


Рис. 4.4. Зависимость коэффициента  $\psi$  от отношения акустической постоянной помещения  $V_{\text{пом}}$  к его площади  $S_{\text{пом}}$

Для определения суммарного логарифмического уровня интенсивности следует иметь в виду, что в случае, когда в расчетную точку попадает шум нескольких источников, их интенсивности складываются:  $J = J_1 + J_2 + \dots + J_n$ .

Разделив левую и правую части этого выражения на  $J_0$  (пороговую интенсивность) и прологарифмировав, получим

$$L = 10 \lg \frac{J}{J_0} = 10 \lg \frac{(J_1 + J_2 + \dots + J_n)}{J_0} = 10 \lg \left( \frac{J_1}{J_0} + \frac{J_2}{J_0} + \dots + \frac{J_n}{J_0} \right) =$$

$$= 10 \lg (10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}),$$

поскольку  $\lg \frac{J_i}{J_0} = 0,1L_i$  и  $\frac{J_i}{J_0} = 10^{0,1L_i}$ .

Таким образом, при наличии  $n$  источников суммарная интенсивность шума в расчетной точке будет равна

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}. \quad (4.13)$$

**Пример:** рассчитать уровень интенсивности шума на территории, где находятся три ненаправленных источника шума на высоте 1,5 м с уровнями звуковой мощности 50 дБ, 40 дБ, 60 дБ. Расчет выполнить для точки, отстоящей от 1-го источника на расстоянии 2 м, от 2-го – на расстоянии 2,5 м, от 3-го – на расстоянии 4 м. Звуковое поле считать свободным, т. е. не имеющим границ, от которых могло бы происходить отражение звуковых волн. Влажность воздуха равна 80%.

*Решение.*

1. Поскольку шум ненаправленный –  $\Phi = 1$ .  $e_\delta$  найдем по табл. 4.1 для 80%-ной влажности:

– на частоте 1000 Гц  $e_\delta = 5,5$  дБ/км = 0,0055 дБ/м;

– на частоте 2000 Гц  $e_\delta = 9,7$  дБ/км = 0,0097 дБ/м.

В любом случае – это пренебрежимо малые величины.

Таким образом, для нашего случая:

$$L_J = 50 + 10 \cdot 0 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi \cdot 2^2} \right) = 36 \text{ [дБ]};$$

$$L_J = 40 + 10 \cdot 0 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi \cdot 2,5^2} \right) = 24 \text{ [дБ]};$$

$$L_J = 60 + 10 \cdot 0 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi \cdot 4^2} \right) = 40 \text{ [дБ]}.$$

2. Определим суммарный уровень интенсивности

$$L_J = 10 \lg (10^{0,1 \cdot 36} + 10^{0,1 \cdot 24} + 10^{0,1 \cdot 40}) = 1,5 \text{ дБ}.$$

**Упрощенный метод сложения уровней звукового давления (уровней звука).** Пусть необходимо сложить источники  $L_1 = 90$  дБ и  $L_2 = 96$  дБ. Разность уровней  $L_2 - L_1 = 6$  дБ. Из табл. 4.2 находим добавку:  $D = 1$  дБ. Суммарный УЗД определяется прибавлением к большему значению добавки  $L = L_2 + D = 96 + 1 = 97$ .

Когда складываются несколько источников, то операция повторяется последовательно. Пусть необходимо сложить уровни четырех источников 70, 90, 96, 100 дБ. Не приступая к вычислениям, можно отбросить источник, уровень которого на 20 дБ ниже максимального. Из предыдущего примера значение суммарных уровней второго и третьего источников равно 97 дБ. Нетрудно получить, что суммарный уровень четырех источников составит 101,8 дБ.

При борьбе с шумом нередко приходится решать обратную задачу. Вычитание уровней можно произвести, используя данные, приведенные в табл. 4.3.

**Пример.** Пусть на территории жилой застройки при работе компрессора с УЗ, равным  $L_2 = 65$  дБА, уровень звука составлял  $L = 70$  дБА. Требуется определить шум после отключения компрессора. Разница между уровнями  $L - L_2 = 70 - 65 = 5$  дБА.

Из табл. 4.2 определяем поправку  $D = 2$  дБА. Значение УЗ на территории после отключения источника:  $70 - 2 = 68$  дБА.

Таблица 4.2

Сложение уровней звукового давления (звука)

Разность двух складываемых УЗД(УЗ) дБ(дБА)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
Добавка $\Delta$ к большему УЗД(УЗ)	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0

Таблица 4.3

Вычитание уровней звукового давления (звука)

Разность между вычитаемыми УЗД(УЗ), дБ(дБА)	10	9...6	5...4	3	2	1
Отрицательная поправка ( $-\Delta$ ) к большему УЗД(УЗ)	0	1	2	3	5	7

**Расчет уровня шума в жилой застройке.** При разработке проектов генеральных планов городов и планировки их районов должны предусматриваться градостроительные меры по снижению транспортного шума в жилой застройке. При этом должно быть учтено расположение транспортных магистралей, жилых и нежилых зданий, возможное наличие зеленых насаждений. Учет этих факторов помогает в одних случаях обойтись без специальных строительно-акустических мероприятий по защите от шума, а в других – снизить затраты на их осуществление.

Для успешного решения такой задачи необходимо уметь определять уровень звука в расчетной точке (площадка для отдыха в жилой застройке) от источника шума – автотранспорта, движущегося по уличной магистрали.

Уровень звука в расчетной точке, дБА:

$$L_{\text{рп}} = L_{\text{иш}} - \Delta L_{\text{рас}} - \Delta L_{\text{воз}} - \Delta L_{\text{зел}} - \Delta L_{\text{э}} - \Delta L_{\text{зд}}, \quad (4.14)$$

где  $L_{\text{иш}}$  – уровень звука от источника шума (автотранспорта);  $\Delta L_{\text{рас}}$  – снижение уровня звука из-за его рассеивания в пространстве, дБА;  $\Delta L_{\text{воз}}$  – снижение уровня звука из-за его затухания в воздухе, дБА;  $\Delta L_{\text{зел}}$  – снижение уровня звука зелеными насаждениями, дБА;  $\Delta L_{\text{э}}$  – снижение уровня звука экраном (зданием), дБА;  $\Delta L_{\text{зд}}$  – снижение уровня звука зданием (преградой), дБА.

Снижение уровня звука от его рассеивания в пространстве

$$\Delta L_{\text{рас}} = 10 \lg \left( \frac{r_n}{r_0} \right), \quad (4.15)$$

где  $r_n$  – кратчайшее расстояние от источника шума до расчетной точки, м;  $r_0$  – кратчайшее расстояние между точкой, в которой определяется звуковая характеристика источника шума, и источники шума, м.

Снижение уровня звука из-за его затухания в воздухе

$$\Delta L_{\text{воз}} = \frac{(\alpha_{\text{воз}} \cdot r_n)}{100}, \quad (4.16)$$

где  $\alpha_{\text{воз}}$  – коэффициент затухания звука в воздухе;  $\alpha_{\text{воз}} = 0,5$  дБА/м.

Снижение уровня звука зелеными насаждениями

$$\Delta L_{\text{зел}} = \alpha_{\text{зел}} \cdot B, \quad (4.17)$$

где  $\alpha_{\text{зел}}$  – постоянная затухания шума ( $\alpha_{\text{зел}} = 0,1$  дБА);  $B$  – ширина полосы зеленых насаждений ( $B = 10$  м).

Снижение уровня звука экраном (зданием)  $\Delta L_{\text{э}}$ , зависит от разности длин путей звуковой волны (звукового луча),  $\delta S$ , м (табл. 4.4).

Расстоянием от источника шума и от расчетной точки до поверхности земли можно пренебречь.

Зависимость снижения уровня звука от разности длин путей звукового луча

$\delta S$	1	2	5	10	15	20	30	50	60
$\Delta L_{\text{воз}}$	14	16,2	18,4	21,2	22,4	22,5	23,1	23,7	24,2

Снижение шума за экраном (зданием) происходит в результате образования звуковой тени в расчетной точке и огибания экрана звуковым лучом.

Снижение шума зданием (преградой) обусловлено отражением звуковой энергии от верхней части здания

$$\Delta L_{\text{зд}} = K \cdot W, \quad (4.18)$$

где  $K$  – коэффициент, дБА/м ( $K = 0,8 \dots 0,9$ );  $W$  – толщина (ширина) здания, м.

Допустимый уровень звука на площадке для отдыха – не более 45 дБА.

**Расчет звукоизоляции.** Снижение уровня шума, распространяющегося по воздуху, наиболее радикально может быть осуществлено устройством на пути его распространения звукоизолирующих преград. Принцип звукоизоляции заключается в том, что большая часть падающей на преграду звуковой энергии отражается, и лишь незначительная ее часть проникает через преграду. Звукоизоляцией называется ослабление звуковой энергии при передаче ее через преграду.

Звукоизолирующая способность материала и конструкции оценивается в децибелах и определяется по формуле

$$R = 10 \lg \frac{P_{\text{пад}}}{P_{\text{пр}}}, \quad (4.19)$$

где  $P_{\text{пад}}$  – акустическая мощность, падающая на преграду, Вт;  $P_{\text{пр}}$  – акустическая мощность, прошедшая через преграду, Вт.

Механизм передачи звука через ограждения состоит в том, что звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте звуковых колебаний. В результате ограждение становится источником звука и

излучает его в окружающую среду. Количество прошедшей звуковой энергии растет с увеличением амплитуды колебаний. Кроме того, характер и значения звукоизоляции ограждения в значительной степени зависят от частоты падающего звука.

Снижение уровня шума за счет звукоизоляции однородной перегородки рассчитывается по формуле

$$R = 20 \cdot \lg(G \cdot f) - 47,5, \quad (4.20)$$

где  $f$  – частота звука,  $G$  – масса  $1\text{ м}^2$  изолирующей перегородки,  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

Масса изолирующей перегородки определяется по формуле

$$G = \rho \cdot \delta, \quad (4.21)$$

где  $\rho$  – плотность материала перегородки,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\delta$  – толщина перегородки, м.

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

$$B = B_{1000} \cdot \mu \quad (4.22)$$

где  $B_{1000}$  – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая по табл. 4.5 в зависимости от объема  $V$  и типа помещения,  $\mu$  – частотный множитель, определяемый по табл. 4.6.

Таблица 4.5

Определение постоянной помещения

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

Значения частотного множителя  $\mu$ 

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Октавные полосы частот со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Менее 200	0,82	0,80	0,75	0,70	0,80	1,00	1,40	1,80	2,50
200...1000	0,67	0,65	0,62	0,64	0,75	1,00	1,50	2,40	4,20
Более 1000	0,52	0,50	0,50	0,55	0,70	1,00	1,60	3,00	6,00

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

$$R = 10 \lg [1 + (S_o / S_c) (10^{0,1(R_c - R_o)} - 1)], \quad (4.23)$$

где  $R_c$ ,  $R_o$  – звукоизоляция соответственно глухой части стены и окна или дверь в данной октавной полосе частот, дБ;  $S_o$  – площадь окна или двери, м<sup>2</sup>;  $S_c$  – площадь стены, включая окно или дверь, м<sup>2</sup>.

Возможное снижение звукоизоляции необходимо учитывать при расчете звукоизолирующих устройств путем увеличения требуемой звукоизоляции на эту величину. При этом определяют толщину материала однослойного ограждения  $h$  для максимального значения требуемой звукоизоляции исходя из формулы (4.20), учитывая соотношение (4.21).

**Расчет звукопоглощения.** Расчет звукопоглощения сводится к подбору материала и площади звукопоглощения.

Эффективность звукопоглощающей облицовки

$$\Delta L_{зп} = 10 \lg \frac{B_2}{B_1} \text{ [дБ]}, \quad (4.24)$$

где  $B_1$ ,  $B_2$  – акустические постоянные помещения соответственно до и после акустической обработки, т. е. применения дополнительных звукопоглощающих поверхностей.

Акустическая постоянная помещения  $B$  определяется по формулам:

$$B = \frac{\alpha_{\text{пом}} \cdot S_{\text{огр}}}{(1 - \alpha_{\text{пом}})}, \quad (4.25)$$

$$\alpha_{\text{пом}} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{S_{\text{огр}}}, \quad (4.26)$$

где  $\alpha$  – средний коэффициент звукопоглощения в помещении,  $S_{\text{огр}}$  – суммарная площадь поверхностей, ограждающих помещение,  $\text{м}^2$ ,  $\alpha_i$  – коэффициент поглощения  $i$ -й ограждающей поверхности берется по справочным данным.

Коэффициенты звукопоглощения для ряда материалов приведены в табл. 4.7.

Хорошими звукопоглощающими материалами считаются такие, у которых коэффициент звукопоглощения на частотах 250...2000 Гц равен 0,2...0,5.

Существуют упрощенные методы подбора величины звукопоглощающей облицовки для обеспечения требуемого снижения уровня шума  $\Delta L$ , исходя из соотношения

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_2}{A_1} \quad (4.27)$$

В табл. 4.8 представлена зависимость величины ослабления уровня шума в помещении от величины отношения  $A_2/A_1$ , где  $A_1$  и  $A_2$  – суммарное звукопоглощение до и после облицовки.

Таблица 4.7

Коэффициент звукопоглощения

Материал	Коэффициент звукопоглощения в октавных полосах						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стальной лист $d = 50\text{мм}$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Фанера $d = 8\text{ мм}$	0,28	0,21	0,17	0,09	0,10	0,11	0,11
Стены, покрытые масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Минераловатные плиты с зазором 50 мм	0,12	0,36	0,88	0,94	0,84	0,80	0,73
Минераловатные плиты без зазора	0,05	0,12	0,66	0,91	0,96	0,89	0,76
Плиты «Шуманет»	0,26	0,67	1,00	1,00	0,99	0,90	–
Плиты «Силакпор»	0,15	0,29	0,35	0,42	0,51	0,61	–

$A_1 = \alpha_1 S_1$ , где  $\alpha_1$  – средний коэффициент звукопоглощения необлицованных поверхностей,  $S_1$  – площадь поверхностей,  $m^2$ .

$A_2 = \alpha_0 S_0 + \alpha_1 (S_1 - S_0)$ , где  $\alpha_0$  – коэффициент звукопоглощения облицовки.

Тогда площадь облицовки можно определить как

$$S_0 = \frac{\alpha_1 S_1 (1 - 10^{0,1 \Delta L})}{\alpha_1 - \alpha_0}. \quad (4.28)$$

В качестве проверки вычислений или для приблизительной оценки можно воспользоваться табл. 4.8

Таблица 4.8

Ослабление уровня шума звукопоглощением

$A_2/A_1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	40
$\Delta L$ , дБ	3	4,8	6	7	7,8	8,2	9	9,6	10	13	16

## 4.2. Задачи для самостоятельного решения

**4.2.1.** В течение рабочего дня (8 ч.) в помещении управления на работающих действует непостоянный шум. Согласно результатам измерений в течении  $t_1$  ч. действует шум с уровнем звука, равным  $L_1$  дБА,  $t_2$  ч. –  $L_2$  дБА,  $t_3$  ч. –  $L_3$  дБА. В остальное время –  $L_4$ . Оценить условия труда на рабочем месте по шуму. Данные для расчета представлены в табл. 4.9.

**4.2.2.** Рассчитать уровень интенсивности шума на территории, где находятся два ненаправленных источника шума с уровнями звуковой мощности  $L_{w1}$  дБ и  $L_{w2}$  дБ. Расчет выполнить для точки, отстоящей от 1-го источника на расстоянии  $r_1$ , м, от 2-го – на расстоянии  $r_2$ , м. Правильность определения суммарного уровня шума проверить, используя приближенный метод сложения уровней звукового давления (см. с. 7, табл. 4.2).

Примечания:

1. Звуковое поле считать свободным, т. е. не имеющим границ, от которых могло бы происходить отражение звуковых волн.

2. Влажность воздуха равна 80%. Значения  $L_{w1}$ ,  $L_{w2}$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  приведены в табл. 4.10.

## Исходные данные к задаче 4.2.1

<b>№</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
$t_1$	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	1,0	0,5	4,0
$t_2$	2,5	3,5	1,0	0,5	1,5	2,0	3,0	1,2
$t_3$	2	1,2	3,0	2	2	2,5	3,5	1,5
$L_1$	67	85	90	45	50	65	72	88
$L_2$	85	90	55	50	35	67	85	90
$L_3$	92	85	90	85	90	67	85	90
$L_4$	50	65	72	40	35	40	90	55
<b>№</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
$t_1$	3,2	2,5	1,5	1,0	2,0	1,2	3,0	2,5
$t_2$	1,0	2,5	4,0	3,2	2,5	1,5	1,0	2,0
$t_3$	1,0	2,0	2,0	1,2	3,0	1,5	2	3
$L_1$	92	85	90	55	35	40	50	35
$L_2$	45	65	72	45	50	65	85	90
$L_3$	45	50	35	67	50	35	35	45
$L_4$	67	85	90	45	88	50	85	40
<b>№</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
$t_1$	1,5	2,0	3,0	2,5	3,5	1,0	0,5	4,0
$t_2$	2,5	3,5	1,0	0,5	1,5	2,0	3,0	1,2
$t_3$	2	1,2	3,0	2	2	2,5	3,5	1,5
$L_1$	50	65	72	40	35	40	70	76
$L_2$	92	85	90	50	90	67	90	70
$L_3$	85	90	55	45	35	81	85	89
$L_4$	67	85	90	40	50	65	64	55
<b>№</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>
$t_1$	1,0	0,5	3,5	1,0	4,0	1,5	2,0	1,8
$t_2$	1,0	2,5	2,0	3,0	1,0	1,5	2,5	3,0
$t_3$	3,2	1,0	0,5	1,2	1,5	2,0	2,0	1,0
$L_1$	92	85	90	55	35	40	50	35
$L_2$	45	65	72	45	50	65	85	90
$L_3$	45	50	35	67	50	35	35	45
$L_4$	67	85	90	45	88	50	85	40

## Исходные данные к задаче 4.2.2

<b>№</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
$L_{w1}$	70	67	77	67	89	81	91	86
$L_{w2}$	80	69	79	78	66	75	74	71
$r_1$	2,9	3,7	1,6	3,2	3,9	2,6	4,0	3,9
$r_2$	3,2	3,2	3,3	1,6	3,0	3,0	3,0	3,7
<b>№</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
$L_{w1}$	79	76	90	87	89	84	81	71
$L_{w2}$	64	55	73	60	72	80	60	65
$r_1$	3,1	2,6	2,9	1,7	3,8	3,9	3,6	2,7
$r_2$	1,8	2,3	2,0	2,8	3,6	1,6	1,5	2,7
<b>№</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
$L_{w1}$	60	66	69	73	69	81	76	73
$L_{w2}$	61	76	54	78	70	73	70	60
$r_1$	3,0	2,5	4,0	3,0	1,9	3,4	1,6	2,5
$r_2$	3,3	2,5	2,6	1,9	2,2	2,2	1,6	2,7
<b>№</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>
$L_{w1}$	78	63	84	91	72	76	89	91
$L_{w2}$	69	50	76	64	78	65	73	69
$r_1$	3,0	8,0	3,2	2,0	2,0	4,0	3,0	3,0
$r_2$	2,0	3,5	3	4,0	4,0	3,2	2,0	5,0

**4.2.3.** Измеренные значения уровней звукового давления на среднегеометрических октавных частотах приведены в табл. 4.11. Построить спектр шума. Определить уровень звука.

Примечание: для вычисления уровня звука в дБА октавные уровни звукового давления корректируются по кривой частотной коррекции «А» (табл. П7), характеризующей приближенно частотную характеристику восприятия шума человеческим ухом, а затем вычисляется уровень звука в дБА по следующей формуле

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^8 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)}, \quad (4.29)$$

где  $L_i$  – скорректированные по шкале «А» октавные уровни звукового давления, дБ. Поправки к октавным уровням звукового давления для коррекции по шкале «А» представлены в табл. 4.12.

Таблица 4.11

Данные к задаче 4.2.3

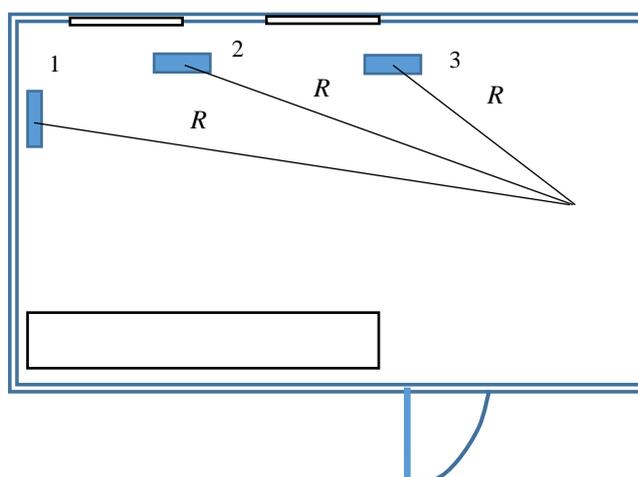
$f, \text{Гц}$	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L, \text{дБ}$	35	85	40	60	60	80	50	30

Таблица 4.12

Поправки взвешивающего фильтра «А»

Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Поправки, дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1

**4.2.4.** В помещении с размерами  $10 \times 20 \times 4$  работают 3 станка (1, 2, 3) звуковой мощностью 85, 80 и 90 дБ соответственно. Максимальные размеры станков  $l_1 = 1,4 \text{ м}$ ,  $l_2 = 1,6 \text{ м}$ ,  $l_3 = 1,5 \text{ м}$ . Оценить уровень интенсивности в точке помещения, расположенной на расстоянии  $R_1 = 17 \text{ м}$  от 1-го станка,  $R_2 = 14 \text{ м}$  от 2-го станка и  $R_3 = 6 \text{ м}$  от 2-го, если средний коэффициент звукопоглощения в помещении равен 0,15. Каков был бы уровень интенсивности шума в данной точке, если бы звуковое поле было свободным?



**4.2.5.** Оцените снижение шума однородной звукоизолирующей перегородкой из заданного материала толщиной  $h, \text{ м}$  диапазоне частот 100 ... 6000 Гц. Варианты заданий приведены в табл. 4.13.

## Варианты к заданию 4.2.5

№ вар.	Материал перегородки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Толщина, м	Частота
1	ДСП	1000	0,05	250
2	Стекло	2500	0,003	125
3	Железобетон	2500	0,30	500
4	Гипсокартон	800	0,002	5000
5	Алюминиевый сплав	2800	0,002	350
6	Кирпич	1800	0,250	250
7	Гетинакс	1300	0,008	125
8	Стеклопластик	2000	0,008	500
9	Фанера	696	0,005	250
10	Фанерная плита	749	0,020	2000
11	Алюминиевый сплав	2800	0,003	500
12	Кирпич силикатный	1900	0,25	1000
13	Гетинакс	1350	0,005	2000
14	Стеклопластик	2000	0,010	125
15	Фанера	696	0,004	250
16	Фанерная плита	749	0,02	250
17	ДСП	1000	0,015	4000
18	Стекло	2500	0,002	500
19	Железобетон	2500	0,250	1000
20	Гипсокартон	800	0,004	3200
21	Кирпич силикатный пустотелый	1200	0,25	125
22	Гетинакс	1400	0,006	125
23	Стеклопластик	2000	0,003	250
24	Фанера	696	0,010	1000
25	Фанерная плита	749	0,020	1000

**4.2.6.** Рассчитать толщину звукоизолирующей перегородки из однородного материала (гипсокартон) плотностью  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$  для снижения уровня звукового давления на частоте  $f = 1000 \text{ Гц}$  на 15 дБ.

**4.2.7.** Рассчитать толщину звукоизолирующей однородной перегородки, применив указанный материал для снижения уровня звукового давления на частоте  $f$  на  $R$  дБ. Варианты заданий приведены в табл. 4.14.

## Варианты к заданию 4.2.7

№ вар.	Материал перегородки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Требуемое снижение шума R, дБ	Частота
1	ДСП	1000	25	250
2	Стекло	2500	28	125
3	Железобетон	2500	45	500
4	Гипсокартон	800	15	5000
5	Алюминиевый сплав	2800	25	350
6	Кирпич	1800	50	250
7	Гетинакс	1300	22	125
8	Стеклопластик	2000	16	500
9	Фанера	696	20	2000
10	Фанерная плита	749	20	2000
11	Алюминиевый сплав	2800	24	500
12	Кирпич силикатный	1900	30	1000
13	Гетинакс	1350	14	2000
14	Стеклопластик	2000	12	125
15	Фанера	696	10	250
16	Фанерная плита	749	12	250
17	ДСП	1000	35	4000
18	Стекло	2500	25	500
19	Железобетон	2500	42	1000
20	Гипсокартон	800	18	3200
21	Кирпич силикатный пустотелый	1200	27	125
22	Гетинакс	1400	10	125
23	Стеклопластик	2000	30	250
24	Фанера	696	22	1000
25	Фанерная плита	749	24	1000
26	Фанера	696	15	2000
27	Фанерная плита	749	6	250
28	Стекло	2500	16	500
29	Железобетон	2500	38	1000
30	Гипсокартон	800	15	4000

**4.2.8.** В помещении размерами  $7 \times 6 \times 2,5$  м со средним коэффициентом звукопоглощения  $\alpha = 0,1$  требуется снизить уровень шума за счет уменьшения отраженного звука на 5 дБ (на частоте 1000 Гц) с помощью акустической обработки помещения (указание: применив материал с  $\alpha = 0,7$ , найти добавочную площадь звукопоглощения).

**4.2.9.** Выбрав материал (см. табл. 4.7), определить необходимую площадь облицовки для снижения уровня шума в помещении размерами  $a \times b \times h$  со средним коэффициентом звукопоглощения  $\alpha = 0,1$ . Требуется снизить уровень отраженного звука на  $\Delta L$  дБ (на частоте  $f$  Гц) с помощью акустической обработки помещения.

Исходные данные приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Варианты к заданию 4.2.9

№ вар.	$a$	$b$	$h$	$f$	$\Delta L$
$l$	2	3	4	5	6
1	7	5	3	500	5
2	8	6	3	250	7
3	10	6	3	1000	6
4	4	4	2,5	125	9
5	8	5	2,5	500	8
6	12	8	3,5	2000	10
7	10	7	3	4000	8
8	5	4	2,5	250	5
9	6	5	2,5	500	4
10	20	10	3,5	1000	7
11	20	20	3	500	11
12	17	16	3	250	4
13	26	16	3	1000	12
14	24	14	2,5	125	7
15	25	20	2,5	500	10
16	15	10	3,5	2000	9
17	24	20	3	4000	10
18	12	12	2,5	250	7
19	25	17	2,5	500	4
20	18	10	3,5	1000	10
21	16	13	3	500	11
22	28	29	3	250	5
23	18	9	3	1000	12
24	12	5	2,5	125	7
25	20	16	2,5	500	6
26	21	20	3,5	2000	12
27	28	24	3	4000	7
28	8	3	2,5	250	7
29	6	5	5	1000	9
30	20	10	4,5	500	11
31	15	6	3	1000	7

1	2	3	4	5	6
32	8	16	2,5	2000	11
33	13	22	2,5	250	7
34	18	5	3	4000	12

**4.2.10.** Оценить уровень звука в расчетной точке (площадка для отдыха в жилой застройке) от источника шума – автотранспорта, движущегося по уличной магистрали. Варианты задания приведены в табл. 4.16.

Примечание: в соответствии с данными варианта определить снижение уровня звука в расчетной точке, зная уровень звука от автотранспорта (источник шума), найти уровень звука в жилой застройке и сделать вывод о соответствии расчетных данных допустимым нормам.

Таблица 4.16

Варианты к заданию 4.2.10

Вариант	Расстояние до расчетной точки $r_n$ , м	Разность длин путей звукового луча $\delta$ , м	Толщина (ширина) здания $W$ , м	Уровень звука от источника $L_{и. ш.}$ , дБа
1	2	3	4	5
1	70	5	10	70
2	80	10	10	70
3	85	15	12	70
4	90	20	12	70
5	100	30	14	70
6	105	50	14	75
7	110	60	16	75
8	115	5	16	75
9	125	10	18	75
10	135	15	18	75
11	60	20	10	80
12	65	30	10	80
13	75	50	12	80
14	80	60	12	80
15	100	5	14	80
16	95	10	14	85
17	105	15	16	85
18	110	20	16	85

1	2	3	4	5
19	115	30	18	85
20	120	50	18	85
21	65	60	10	90
22	70	5	10	90
23	80	10	12	90
24	85	15	12	90
25	95	20	14	90
26	100	30	14	70
27	110	50	16	70
28	115	60	16	70
29	120	5	18	70
30	125	10	18	70

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение шума (с физической и физиологической точек зрения).
2. Назовите характеристики шума как физического явления.
3. На каких частотах воспринимает колебания среды человеческое ухо? На какие частоты приходится максимальная чувствительность?
4. Что такое порог слышимости, болевой порог?
5. Что такое громкость звука? Как она определяется?
6. Объясните логарифмическую шкалу для измерения шума (в дБ).
7. Что такое спектр шума, октавная полоса?
8. Что такое уровень звука? Для чего служит характеристика А шумомера?
9. Назовите методы нормирования шума.
10. Что такое предельный спектр?
11. Приведите классификацию шумов: по источнику, по частоте, по спектру, по временным характеристикам.
12. Какая величина используется для нормирования непостоянного шума?
13. Перечислите основные методы борьбы с шумом.
14. На чем основан эффект звукоизоляции? Какие материалы являются хорошими звукоизоляторами?
15. На чем основан эффект звукопоглощения? Какие материалы являются хорошими звукопоглотителями?

## **5. ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ И В БЫТУ**

**Электромагнитная обстановка (ЭМО)** – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная обстановка характеризуется состоянием электромагнитного поля (ЭМП), которое, в свою очередь, оценивается напряженностями электрического и магнитного полей. Распространяющееся в пространстве возмущение электромагнитного поля называется электромагнитным излучением (ЭМИ). При высоких частотах оно оценивается интенсивностью, или плотностью потока энергии.

Подразделяют естественную электромагнитную обстановку и обстановку от электрических, электроэнергетических и иных, созданных человеком устройств, в которых используется электрическая энергия. Поля естественного и искусственного происхождения накладываются друг на друга, векторы напряженностей суммируются.

### **5.1. Естественные источники электрических и магнитных полей**

Естественными источниками электромагнитных полей являются атмосферное электричество, радиоизлучение солнца и галактик, квазистатические, электрические и магнитные поля Земли.

Естественное **электрическое поле** Земли обусловлено отрицательным избыточным зарядом поверхности и составляет на открытой местности примерно 100–500 В/м. При наличии грозового облака напряженность поля может возрасти до нескольких десятков и даже сотен кВ/м, менять направление, а при грозовых разрядах возникают импульсы электромагнитного поля.

Сильные электрические поля промышленной частоты в основном создаются объектами электроэнергетики (линии электропередачи высокого напряжения).

Здания экранируют постоянное электрическое поле Земли и электрическое поле промышленной частоты, созданное линиями электропередачи высокого напряжения и иными объектами.

Внутри зданий постоянное электрическое поле как естественного, так и искусственного происхождения определяется в основном наличием электризующихся природных и синтетических материалов, являющихся основой для покрытий полов, мебели, одежды, обуви и т. д. Напряженность электростатического поля в помещении может достигать десятков и сотен кВ/м. При разрядах статического электричества наблюдаются электромагнитные импульсы с очень высокой крутизной. Возникают сильные электрические поля вблизи некоторых приборов, не имеющих специальной защиты и использующих высокое постоянное напряжение (телевизоры, мониторы и т. д.).

## **5.2. Искусственные источники электромагнитных полей**

К антропогенным источникам ЭМП на производстве и в быту относятся две большие группы источников:

– устройства и приборы, которые специально созданы для излучения электромагнитной энергии (радио- и телевизионные вещательные станции, радиолокационные установки, физиотерапевтические аппараты, технологические установки в промышленности);

– устройства, не предназначенные для излучения электромагнитной энергии в пространство, но в которых при работе протекает электрический ток; это системы передачи и распределения электроэнергии: линии электропередачи, трансформаторные и распределительные подстанции; и приборы, потребляющие электроэнергию: электроплиты, электродвигатели, электронагреватели.

Магнитные поля создаются электромагнитами, соленоидами, установками конденсаторного типа.

Напряженность вблизи воздушных линий электропередач 220 кВ и выше может достигать границы индивидуальной восприимчивости поля, когда человек по косвенным признакам (шевеление волос, ощущение покалывания при микроразрядах между телом и одеждой и т. д.) может установить наличие поля.

Напряженность электрических полей, создаваемых бытовыми электроприборами, проводами систем электропитания, по амплитуде меньше, чем естественная напряженность постоянного поля Земли на открытой местности.

Новым фактором, не свойственным естественной обстановке, является появление высокочастотных электромагнитных полей, создаваемых устройствами связи, телекоммуникаций, радиолокационной техники, микроволновыми аппаратами и т. д. Эти поля частично или полностью экранируются проводящими стенами. Обычно напряженности этих полей, воздействующих на человека, малы по сравнению с рассмотренными. Однако, несмотря на это, влияние высокочастотных полей на человека, создаваемых, например, устройствами радиотелефонной связи, в настоящее время является предметом исследований и дискуссий.

В жилых помещениях в зависимости от числа, мощности включенных приборов, схемы и исполнения электропроводки напряженность поля может меняться в широких пределах. При современном исполнении сети электропитания, отсутствии токовых петель, связанных с заземленными системами водопровода, отопления и т. д., она обычно не превышает десятых долей А/м.

Электромагнитная обстановка в жилых помещениях в основном определяется естественным магнитным полем. Напряженность магнитного поля промышленной частоты при включении электроприборов, как правило, не превышает одного процента от напряженности постоянного поля Земли. Напряженность магнитного поля промышленной частоты имеет тот же порядок, что и переменная составляющая естественного магнитного поля Земли. Исключение составляет лишь использование сравнительно мощных электроприборов, находящихся в непосредственной близости от организма (электроодеяло, утюг, фен, электроинструмент и т. д.).

### **5.3. Нормирование воздействия электромагнитного поля на человека**

Основные характеристики электромагнитного поля:

- частота излучения  $f$  (Гц);
- напряженность электрического поля  $E$   $\left[\frac{\text{В}}{\text{м}}\right]$ ;
- напряженность магнитного поля  $H$   $\left[\frac{\text{А}}{\text{м}}\right]$ ;
- интенсивность излучения (плотность потока энергии) ППЭ  $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right]$  .

В настоящее время в основу нормирования допустимых напряженностей магнитных и электрических полей положены научно установленные механизмы влияния на организм человека: изменение разности потенциалов на мембранах клеток при частотах ниже 10 кГц и нагрев тканей при более высоких частотах. Подходы к установлению нормативных значений характеристик электромагнитного поля различны для производственных и бытовых условий.

Нормативные значения напряженностей электрического и магнитного полей, плотности потока энергии зависит от частоты излучения. Исследуемый диапазон электромагнитных волн при оценке электромагнитной обстановки разделяют на электромагнитные поля промышленной частоты 50 Гц (ЭМП ПЧ) и электромагнитные поля радиочастот 30кГц – 300 МГц (ЭМП РЧ) и сверхвысокочастотный диапазон 300 МГц – 300 ГГц (ЭМП СВЧ).

Оценка воздействия ЭМП РЧ на человека осуществляется по следующим параметрам.

***Для населения:***

- на промышленной частоте и в ЭМП РЧ (30кГц–300 МГц) по электрической и магнитной составляющей;
- в диапазоне СВЧ по плотности потока энергии.

***Для персонала:***

- по энергетической экспозиции (ЭЭ), которая зависит как от характеристик (диапазона) ЭМП, так и от времени воздействия.

Такое различие нормируемых параметров объясняется тем, что время нахождения персонала на рабочих местах регламентировано и может административно регулироваться, а для населения ограничить время пребывания в зоне воздействия источников электромагнитного излучения не представляется возможным.

**Нормирование электромагнитных полей на производстве.**

Для нормирования электромагнитного излучения радиочастот для персонала используется энергетическая экспозиция, которая определяется согласно следующим формулам:

$$\text{ЭЭ}_E = E^2 \cdot T, \quad \text{ЭЭ}_H = H^2 \cdot T, \quad \text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot T \quad (5.1)$$

где  $\text{ЭЭ}_E$  – энергетическая экспозиция по напряженности электрического поля,  $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ ,  $\text{ЭЭ}_H$  – энергетическая экспозиция по напряженности магнитного поля,  $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$ ,  $\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}}$  – энергетическая

экспозиция по плотности потока энергии,  $(\text{Вт}/\text{м}^2)\cdot\text{ч}$ ,  $E$  – напряженность электрического поля, В/м,  $H$  – напряженность магнитного поля, А/м, ППЭ – плотность потока энергии,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ,  $T$  – время воздействия, ч.

ПДУ энергетических экспозиций ( $\text{ЭЭ}_{\text{ПДУ}}$ ) на рабочих местах за смену представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

ПДУ энергетических экспозиций ЭМП  
диапазона частот 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	$\text{ЭЭ}_{\text{ПДУ}}$ в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03-3$	$\geq 3-30$	$\geq 30-50$	$\geq 50-300$	$\geq 300-300000$
$\text{ЭЭ}_e, (\text{В}/\text{м})^2\cdot\text{ч}$	20000	7000	800	800	–
$\text{ЭЭ}_H, (\text{А}/\text{м})^2\cdot\text{ч}$	200	–	0,72	–	–
$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}}, (\text{мкВт}/\text{см}^2)\cdot\text{ч}$	–	–	–	–	200

Исходя из приведенных значений энергетической экспозиции, можно рассчитать безопасное время пребывания человека в электромагнитном поле с учетом фактических величин  $E$ ,  $H$ , ППЭ на его рабочем месте.

**Оценка электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц)** осуществляется отдельно по напряженности электрического поля ( $E$ ) в кВ/м, напряженности магнитного поля ( $H$ ) в А/м или индукции магнитного поля ( $B$ ), в мкТл.

Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле.

Предельно допустимый уровень напряженности электрического поля промышленной частоты на рабочем месте **в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.**

При напряженностях в интервале от 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП ( $T$ , час) рассчитывается по формуле

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (5.2)$$

где  $E$  – напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;  $T$  – допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

При напряженности от 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП ( $T_{пр}$ ) вычисляют по формуле:

$$T_{пр} = 8 \left( \frac{t_{E_1}}{T_{E_1}} + \frac{t_{E_2}}{T_{E_2}} + \dots + \frac{t_{E_n}}{T_{E_n}} \right), \quad (5.3)$$

где  $T_{пр}$  – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности;  $t_{E_1}, t_{E_2}, \dots, t_{E_n}$  – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , ч;  $T_{E_1}, T_{E_2}, \dots, T_{E_n}$  – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон.

Приведенное время не должно превышать 8 ч.

Предельно допустимые уровни напряженности периодического магнитного поля **50 Гц** устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (табл. 5.2).

Таблица 5.2

ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
$\leq 1$	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Допустимое время пребывания может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня.

**Нормирование электромагнитных полей в бытовых условиях.** Нормирование ЭМП ПЧ для населения осуществляется в зависимости от его места нахождения. Это может быть жилое помещение, территория жилой застройки и другие территории.

Таблица 5.3

ПДУ электрического и магнитного поля ПЧ для населения

Места нахождения человека	ПДУ <sub>Е</sub> , кВ/м	ПДУ <sub>Н</sub> , А/м
Внутри жилых зданий	0,5	8
На территории жилой застройки	1,0	40
В населенной местности вне зоны жилой застройки	5	–
На участках пересечения ЛЭП с автомобильными дорогами	10	–
Вне населенной местности	15	–
В труднодоступной местности	20	–

Оценка воздействия электромагнитного поля радиочастот (ЭМП РЧ) передающих радиотехнических объектов на население осуществляется:

– в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц – по эффективным значениям напряженности электрического поля (Е), В/м;

– в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц – по средним значениям плотности потока энергии (ППЭ), мкВт/см<sup>2</sup>.

Уровни ЭМП, создаваемые промышленными радиотехническими объектами на селитебной территории, в местах массового отдыха, внутри жилых, общественных и производственных помещений, подвергающихся воздействию внешнего ЭМП РЧ, не должны превышать ПДУ, указанных в табл. 5.4.

Представленные в табл. 5.4 ПДУ для населения распространяются также на другие источники ЭМП РЧ.

**Принцип «суперпозиции» применительно к нормированию качества окружающей среды.** Известно, что реакция организма на внешнее негативное воздействие при относительно невысоком уровне этого воздействия носит адаптационный характер – организм

приспосабливается к существованию в заданных внешних условиях. Очевидно, что наличие ряда факторов с уровнем воздействия, близким к предельно допустимому, исчерпывает адаптационные ресурсы организма, и перед очередным вредным фактором организм окажется незащищенным.

Таблица 5.4

Предельно допустимые уровни ЭМП  
диапазона частот 30 кГц – 300 ГГц для населения

Диапазон частот	30–300 кГц	0,3–3 МГц	3–30 МГц	30–300 МГц	0,3–300 ГГц
Нормируемый параметр	Напряженность эл.поля, В/м				ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>
ПДУ	25	15	10	3	10

Поэтому нормативными документами установлено, что при определении суммарного действия нескольких источников загрязнения (независимо от вида загрязнения) действие каждого из источников учитывается в долях соответствующего ПДУ (ПДК), а суммирование производится в квадратичном виде

$$\alpha = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i}{A_{\text{ПДУ}}} \right)^2}, \quad (5.4)$$

где  $A_i$  – уровень  $i$ -го вредного воздействия,  $A_{\text{ПДУ}}$  – ПДУ этого воздействия.

При выполнении условия  $\alpha > 1$  среда является неблагоприятной.

#### 5.4. Защита от воздействия электромагнитных излучений

Для защиты человека от воздействия ЭМИ предусматриваются следующие способы и средства:

1. Уменьшение параметров излучения в самом источнике (защита количеством, поглотители мощности из поглощающих материалов – резина, полистирол, чистый графит).

2. Экранирование источника излучения, экранирование рабочего места.

Экранирование источников излучения ЭМП используют для снижения интенсивности излучения на рабочем месте или ограждения опасных зон излучения. Экраны изготавливают из металлических листов или сетки в виде замкнутых камер, шкафов или кожухов. Экранирование рабочих мест применяют в случаях, когда невозможно осуществить экранирование аппаратуры.

Толщина экрана, изготовленного из сплошного алюминия, см

$$B = \frac{0,63 \cdot \lg \mathcal{E}}{\sqrt{f}}, \quad (5.5)$$

где  $\mathcal{E}$  – заданное ослабление интенсивности излучения ЭМП;  $f$  – частота излучения ЭМП, МГц.

3. Выделение зон излучения (зонирование), применение сигнализации (сигнальные цвета и знаки).

4. Установление рациональных режимов эксплуатации установок и режима работы персонала, применение сигнализации (световой, звуковой).

5. СИЗ – защитные халаты от СВЧ из ткани «Щит» – вискоза с наполнением, очки с металлизированными стеклами (диоксид олова).

6. Защита расстоянием (увеличение расстояния между источником и рабочим местом) – для дальней зоны – кроме ближней зоны, где ППЭ не зависит от расстояния.

Минимальное допустимое расстояние от рабочего места до излучающей антенны РТО, м

$$r = \sqrt{\frac{P_{\text{ср}} \cdot \sigma}{12,56 \cdot \text{ППЭ}_{\Sigma}}}, \quad (5.6)$$

где  $P$  – средняя мощность излучения, Вт;  $\sigma$  – коэффициент усиления антенны.

Средняя мощность излучения

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{имп}} \cdot \tau}{T_c}, \quad (5.7)$$

где  $P_{\text{имп}}$  – мощность излучения в импульсе, Вт;  $\tau$  – длительность импульса, мс;  $T_c$  – период следования импульсов, мс.

Основной способ защиты от ЭМП в окружающей среде – защита расстоянием. Для защиты населения от воздействия ЭМП, создаваемых РТО, устанавливают санитарно-защитные зоны. Санитарно-защитная зона – это площадь, примыкающая к технической территории РТО. Внешнюю границу этой зоны определяют на высоте 2 м от поверхности земли по предельной интенсивности излучения ЭМП, приводимой в нормах. Радиус санитарно-защитной зоны определяют по формуле (5.6) при условии  $ППЭ_{(\Sigma)} = ППЭ = 5 \text{ мкВт/см}^2$ .

Таблица 5.5

Нормативные размеры санитарных зон

Суммарная мощность передатчика, кВт	Размеры санитарной зоны, м
До 10	В пределах технической территории
10–75	200...300
75–160	400...500
Более 160	500...1000

Санитарная зона разделяется на зону строгого режима (50...100 м) и зону ограниченного пользования в зависимости от мощности передатчика. В зоне строгого режима допускается пребывание только работников передающей станции, и время ограничено. В зоне ограниченного пользования можно располагать объекты, в которых граждане могли бы находиться менее 8 ч. (гаражи, хозяйственно-бытовые помещения).

Защита временем (ограничение времени пребывания персонала в рабочей зоне) – только для электрического поля с  $f = 50 \text{ Гц}$  и ЭМП в диапазоне 300 МГц...300 ГГц

$$T = \frac{W_N}{ППЭ_{\Sigma}}, \quad (5.8)$$

где  $T$  – максимальное время пребывания человека в зоне облучения, ч;  
 $W_N$  – нормированное значение допустимой энергетической нагрузки на организм человека,  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  ( $\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ).

Нормированные значения допустимой энергетической нагрузки на организм человека составляют:

–  $200 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$  – для всех случаев облучения от неподвижных антенн;

–  $2000 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$  – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн.

Предельно допустимую плотность потока энергии ЭМП в диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала радиотехнических объектов (РТО) устанавливают, исходя из допустимого значения энергетической нагрузки на организм человека и времени его пребывания в зоне облучения. Однако во всех случаях она не должна превышать  $10 \text{ Вт/м}^2$  ( $1000 \text{ мкВт/см}^2$ ), а при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше  $28^\circ \text{C}$ ) –  $1 \text{ Вт/м}^2$  ( $100 \text{ мкВт/см}^2$ ).

## 5.5. Задания для самостоятельной работы

**5.4.1.** Считая плотность потока энергии прямо пропорциональной мощности излучателя и обратно пропорциональной квадрату расстояния до него и величине  $4\pi$ , определите плотность потока энергии, создаваемую wi-fi роутером мощностью 100 мВт на расстоянии 40 см. Сравните ее с ПДУ для населения.

**5.4.2.** Предстоит плановая работа в открытом распределительном устройстве мощностью 500 кВт. Персонал работает без применения защитных средств.

Продолжительность работы составляет:

– 60 мин. на участке 1, где  $E = 10 \text{ кВ/м}$ ;

– 90 мин. на участке 2 с напряженностью электрического поля  $E = 8 \text{ кВ/м}$ .

Определить наибольшее допустимое время выполнения работ для третьего участка, где  $E = 6 \text{ кВ/м}$ , имея в виду, что приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту времени пребывания в электрическом поле не должно превышать 8 ч. в течение рабочего дня.

**5.4.3.** В жилом доме действуют несколько неблагоприятных факторов, виды и интенсивность которых представлена в табл. 5.6. Указаны доли ПДУ (ПДК) для неэлектромагнитных типов загрязнений в непосредственно уровни для электромагнитных загрязнений. Используя принцип суперпозиции, определить, является ли среда благоприятной.

Таблица 5.6

## Исходные данные к задаче 5.4.3

Вариант	Уровень химического загрязнения, в долях ПДК	Уровень шума, в долях ПДУ	Плотность потока энергии ЭМП на частоте 900 МГц, мкВт/см <sup>2</sup>	Напряженность ЭП на частоте 50 Гц, В/м	Напряженность МП на частоте 50 Гц, А/м
1	0,5	0,4	8	374	5
2	0,4	1,0	2	100	9
3	0,3	0,4	10	175	7
4	1,1	0,4	11	345	1
5	0,2	0,3	6	190	10
6	0,5	0,5	2	145	1
7	0,5	0,5	11	437	6
8	0,2	0,2	8	315	1
9	0,3	0,0	7	123	3
10	0,9	0,3	10	449	6
11	0,8	0,9	7	278	4
12	1,1	0,5	8	322	8
13	0,5	0,9	7	350	3
14	0,6	1,1	8	491	4
15	0,7	0,6	7	289	4
16	0,8	0,1	3	265	9
17	0,9	0,9	9	398	8
18	1,0	1,2	12	182	8
19	1,1	0,9	6	113	1
20	1,2	0,4	8	313	8
21	0,3	0,7	6	103	5
22	0,7	0,8	2	270	1
23	0,8	0,9	2	184	8
24	0,5	1,1	3	238	2
25	0,4	0,7	8	289	9
26	0,2	0,4	9	306	5
27	0,8	0,5	8	114	8
28	1,1	0,2	4	376	8
29	1,2	0,7	6	312	5
30	0,8	0,1	11	472	4
31	1,1	0,7	8	322	1
32	0,7	0,5	7	350	8
33	0,3	0,8	3	491	5
34	0,5	0,4	9	289	2

**5.4.4.** Оценить допустимую продолжительность работы персонала или возможность нахождения в указанном электромагнитном поле исходя из ПДУ энергетической экспозиции (исходные данные в табл. 5.7).

Таблица 5.7

Исходные данные к задаче 5.4.4

Вариант	Частота	Вид электромагнитного загрязнения			Длительность нахождения в ЭМП	Определить ...
		$E$ , В/м	$H$ , А/м	ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>		
1	2	3	4	5	6	7
1	100 кГц	229	45	–	4 ч	можно ли работать указанное время?
2	40 МГц	85,0	2,5	–	7 ч	можно ли работать указанное время?
3	400 МГц	–	–	600	–	время безопасной работы
4	50 Гц	15 кВ/м	–	–	3 ч	можно ли работать указанное время?
5	50 Гц	10 кВ/м	–	–	–	время безопасной работы
6	500 кГц	359	54	–	–	время безопасной работы
7	50 МГц	45,0	–	–	–	время безопасной работы
8	900 МГц	–	–	300	–	время безопасной работы
9	30 кГц	457	25	–	–	время безопасной работы
10	100 кГц	231	51	–	8 ч	можно ли работать указанное время?
11	150 кГц	306	55	–	6 ч	можно ли работать указанное время?
12	1200 МГц	–	–	158	–	время безопасной работы
13	650 МГц	–	–	200	5 ч	можно ли работать указанное время?
14	250 кГц	476	55	–	8 ч	можно ли работать указанное время?
15	500 МГц	–	–	1500	6 ч	можно ли работать указанное время?

Окончание табл. 5.7

1	2	3	4	5	6	7
16	100 ГГц	–	–	1110	7 ч	можно ли работать указанное время?
17	250 ГГц	–	–	1550	–	время безопасной работы
18	250 МГц	85,0	–	–	8 ч	можно ли работать указанное время?
19	100 кГц	611	46	–	–	время безопасной работы
20	500 кГц	604	52	–	–	время безопасной работы
21	500 МГц	–	–	1350	–	время безопасной работы
22	750 кГц	540	49	–	7,5 ч	можно ли работать указанное время?
23	1 МГц	634	51	–	–	время безопасной работы
24	10 МГц	350,0	–	–	–	время безопасной работы
25	30 кГц	581	49	–	6 ч	можно ли работать указанное время?
26	50 кГц	520	55	–	5 ч	можно ли работать указанное время?
27	100 кГц	650	48	–	8 ч	можно ли работать указанное время?
28	150 МГц	90,0	–	–	–	определить время безопасной работы
29	150 ГГц	–	–	950	–	определить время безопасной работы
30	200 МГц	100,0	–	–	6 ч	можно ли работать указанное время?

**5.4.5.** Проверить выполнение норматива по интенсивности ЭМП, создаваемого базовой станцией (БС) системы сотовой связи в точке М на верхнем этаже жилого дома (рис. 5.1) на частоте 900 МГц. Параметры БС, расположение источника излучения и точки М приведены в табл. 5.8.

Горизонтальное направление соответствует  $\Theta = 0$ .

Для решения задачи необходимо воспользоваться формулой (5.9)

$$\text{ППЭ} = \frac{P_{\text{БС}} \cdot G(\Theta)}{4 \cdot \pi \cdot l^2} \quad (5.9)$$

Полученное значение ППЭ сравнить с ПДУ плотности потока энергии для населения на частоте 900 МГц и сделать вывод об электромагнитной обстановке (благоприятная/неблагоприятная) в жилом доме, находящемся в зоне действия базовой станции.

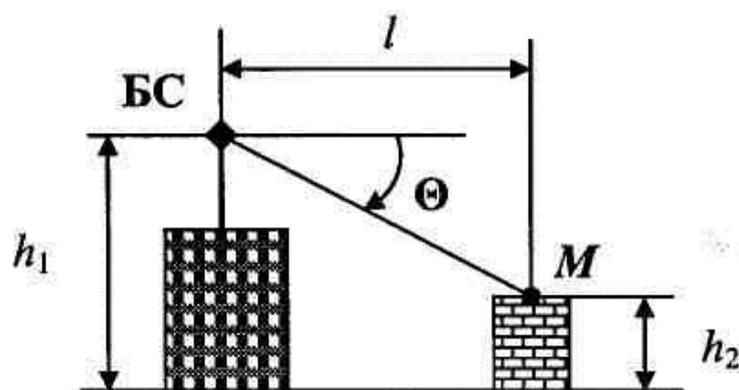


Рис. 5.1. Взаимное расположение базовой станции (БС) и жилого дома

Таблица 5.8

Исходные данные к задаче 5.4.5

Вариант	Мощность БС ( $P_{\text{БС}}$ ), Вт	Диаграмма направленности в вертикальной плоскости	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$l$ , м
1	2	3	4	5	6
1	35	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	20	10	40
2	45	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	29	23	49
3	45	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	29	17	24
4	35	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	21	19	41
5	50	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	20	21	27
6	40	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	41	20	29
7	40	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	43	10	21
8	25	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	20	20	20
9	45	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	41	18	22
10	40	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	28	20	33
11	30	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/20))$	48	18	49
12	25	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/20))$	21	19	39
13	45	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/20))$	36	23	25
14	25	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/20))$	25	15	47
15	50	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/20))$	34	23	21

1	2	3	4	5	6
16	40	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/20))$	48	24	37
17	35	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	44	18	48
18	25	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	24	14	42
19	30	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	44	25	24
20	50	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	31	14	49
21	25	$G(\Theta) = 2\cos^2\Theta$	40	20	24
22	40	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos(\Theta - (\pi/20))$	49	16	22
23	30	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos(\Theta - (\pi/20))$	42	12	41
24	30	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos(\Theta - (\pi/20))$	49	23	44
25	40	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos(\Theta - (\pi/20))$	50	25	39
26	50	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos(\Theta - (\pi/20))$	40	23	50
27	50	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/15))$	40	11	39
28	25	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/15))$	46	19	22
29	45	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/15))$	20	13	40
30	35	$G(\Theta) = 2\cos^2(\Theta - (\pi/15))$	33	22	27
31	25	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	36	10	20
32	30	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	25	20	22
33	50	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	34	18	40
34	45	$G(\Theta) = (\pi/2)\cos\Theta$	40	25	35

**5.4.6.** Рассчитать средства защиты от электромагнитных полей в диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц (варианты в табл. 5.9).

Порядок выполнения работы:

1. Определить допустимое время работы на рабочем месте, если оно облучается двумя РТО, создающими интенсивность облучения ППЭ<sub>1</sub>, и ППЭ<sub>2</sub>. Все РТО работают в диапазоне 300 МГц...300 ГГц (указание: воспользоваться формулой (5.8)).

2. Определить минимально допустимое расстояние от рабочего места до РТО с учетом заданных условий внешнего воздействия на оператора других факторов (использовать формулы (5.6), (5.7)).

3. Определить радиус санитарно-защитной зоны для указанных в условии РТО.

4. Определить минимальную толщину сплошного экрана из алюминия, обеспечивающего уменьшение интенсивности облучения в РТО на рабочем месте в Э раз (формула (5.6)).

Таблица 5.9

## Исходные данные к задаче 5.4.6

Характеристики радиотехнического объекта									Условия на рабочем месте				Э, Ослабление интенсивности ЭМП
Вариант	Тип антенны			$P_{\text{имп}}$ , кВт	$\tau$ , мс	$T_c$ , мс	$\sigma$	$f$ , МГц	Интенсивность облучения, мкВт/см <sup>2</sup>		Температура, °С	Наличие рентгеновского излучения	
	не- по- дв.	вра- щ.	ска- нир.						ППЭ <sub>1</sub>	ППЭ <sub>2</sub>			
01	+			100	10	10 <sup>2</sup>	100	300	10	30	20	+	100
02		+		1000	10	10 <sup>2</sup>	50	400	12	30	30		100
03			+	800	10	10 <sup>2</sup>	80	450	60	100	32		500
04	+			500	10	10 <sup>2</sup>	90	500	50	50	25	+	600
05		+		300	10	10 <sup>2</sup>	100	550	30	100	20	+	100
06			+	200	10 <sup>-2</sup>	10	120	600	50	50	30		120
07	+			1000	10	10 <sup>2</sup>	150	800	80	100	20		100
08		+		1800	10 <sup>-1</sup>	10	50	900	60	60	25	+	600
09			+	60	10 <sup>-1</sup>	10	40	700	30	12	30		500
10	+			90	10 <sup>-1</sup>	10	30	800	10	30	32		700
11		+		600	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>	20	500	60	40	25	+	100
12			+	10	10	10 <sup>2</sup>	90	600	70	30	20	+	120
13	+			1000	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	25	900	50	50	24		800
14		+		70	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	20	300	80	80	20		1000
15			+	20	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	90	900	50	30	30		100
16	+			80	10 <sup>2</sup>	10	50	10 <sup>4</sup>	10	30	30		600
17		+		100	10	10 <sup>2</sup>	80	10 <sup>3</sup>	50	50	20		100
18			+	120	10	10 <sup>2</sup>	50	10 <sup>4</sup>	30	100	22	+	120
19	+			500	10	10 <sup>2</sup>	40	800	20	12	30		800
20		+		200	10	10 <sup>2</sup>	30	500	30	50	25		1000
21			+	1000	10	10 <sup>3</sup>	60	900	40	40	30		100
22	+			800	10	10 <sup>3</sup>	40	800	50	50	25	+	100
23		+		80	10 <sup>-1</sup>	10	10	900	30	30	32		120
24			+	100	10 <sup>-1</sup>	10	8	500	90	30	26		700
25	+			1000	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	20	800	20	8	24	+	800
26		+		1600	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>	10	650	40	30	30		100
27			+	1100	10 <sup>-1</sup>	10	12	950	20	80	24		120
28	+			600	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	100	2000	30	30	30		800
29		+		50	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	400	3000	50	50	24	+	200
30			+	100	10 <sup>-3</sup>	10	100	4000	20	40	30		1000

**5.4.7.** Определить радиус ближней зоны для устройства, работающего на частоте  $f$  кГц (табл. 5.10) и постройте график зависимости радиуса ближней зоны от частоты. Какие параметры ЭМП должны контролироваться на рабочих местах персонала, расположенных на расстоянии 4...6 м от источника излучения? На каком приблизительно расстоянии от источника начинается волновая зона?

Таблица 5.10

Исходные данные к задаче 5.4.7

№ в.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f$ , кГц	0,050	30	50	80	500	1000	350000	900000	1500000	2500000

**5.4.8.** Жильцы дома жалуются на сильный шум от автомагистрали и беспокоятся по поводу того, что на крыше здания напротив находится станция сотовой связи («нас облучают»). Работники Санэпиднадзора провели измерения в квартирах и выяснили, что уровень шума составляет в среднем днем  $L_1$  дБА, ночью  $L_2$  дБА плотность потока энергии на частоте сотовой связи 900 МГц –  $I$  мкВт/см<sup>2</sup>, а напряженность электрического поля промышленной частоты –  $E$  В/м. Какое заключение дали специалисты? Данные в табл. 5.11.

Таблица 5.11

Исходные данные к задаче 5.4.8

Вариант	Уровень шума $L_1$	Уровень шума $L_2$	Плотность потока энергии ЭМП, мкВт/см <sup>2</sup>	Напряженность ЭП на частоте 50 Гц, В/м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	48	15	8	374
2	56	20	7	100
3	78	12	10	175
4	45	15	11	345
5	50	18	6	190
6	65	10	2	145
7	55	18	11	437
8	72	19	8	315
9	74	16	7	123
10	67	12	10	449
11	78	15	5	305
12	75	18	2	120

1	2	3	4	5
13	52	22	3	135
14	65	18	2	422
15	50	10	4	180
16	60	18	2	190
17	72	20	5	425
18	58	12	6	300
19	78	60	2	225
20	48	45	2	528
21	55	40	3	340
22	45	40	6	240
23	54	58	9	115
24	75	65	2	202
25	51	40	3	265
26	67	12	10	449
27	78	15	5	305
28	75	18	2	120
29	52	22	3	135
30	65	18	2	422

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные источники ЭМИ.
2. Какими параметрами характеризуются электромагнитные излучения и поля?
3. Назовите характерные зоны ЭМИ. Какими параметрами обусловлены их размеры?
4. Чем обусловлено воздействие ЭМИ на человека? От чего зависит степень этого воздействия?
5. Какими параметрами характеризуется ЭМИ в ближней зоне? В дальней?
6. Что такое ПДУ облучения?
7. В каких случаях воздействие ЭМИ оценивается по энергетической экспозиции?
8. В каких случаях воздействие ЭМИ оценивается по значениям интенсивности ЭМИ радиочастот?
9. Каковы особенности нормирования ЭМИ промышленной частоты для персонала и для населения?
10. Как осуществляется защита человека от электромагнитных излучений?

## 6. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

**Ионизирующее излучение** – излучение, которое при взаимодействии с веществом непосредственно или косвенно вызывает ионизацию и возбуждение его атомов и молекул.

Основными видами ионизирующего излучения, с которыми нам чаще всего приходится сталкиваться, являются:

- альфа-излучение;
- бета-излучение;
- гамма-излучение.

Таблица 6.1

Свойства ионизирующего излучения

Свойства	Альфа-распад	Бета-распад	Гамма-излучение
Природа	Атом гелия He	Электрон $e$ , ( $\beta^-$ )	Коротковолновое Электромагнитное излучение
Схема распада	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + \beta^-$	$Y^{A*} \rightarrow Y^A + \gamma\text{-квант}$
Ионизирующая способность	Очень высокая	Средняя	Слабая
Проникающая способность	Низкая	Средняя	Высокая

### 6.1. Основные дозиметрические величины

Основными дозиметрическими величинами являются:

**Активность (A)** – мера радиоактивности. Характеризует скорость ядерных превращений (распада) радионуклида.

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N,$$

где  $N$  – число ядер,  $\lambda$  – постоянная распада.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}},$$

где  $T_{1/2}$  – время периода полураспада.

Системная единица измерения – Бк (Беккерель), внесистемная – Ки (кюри).  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

Активность радиоактивного вещества зависит от его массы и промежутка времени измерения  $t$

$$A = \frac{m \cdot N_A \cdot \ln 2}{\mu \cdot T_{1/2}} \cdot 2^{-t/T_{1/2}}, \quad (6.1)$$

где  $m$  – масса вещества,  $\mu$  – молярная масса вещества, численно равная молекулярной массе (атомному весу) вещества, если оно является химическим элементом. Например, для  $\text{Ra}_{226}$  молярная масса равна 226,  $N_A$  – число Авогадро, равное  $6,02 \cdot 10^{23}$ .

Если период полураспада велик по сравнению с временем измерения, т. е.  $t \ll T$ , формула упрощается

$$A = \frac{m \cdot N_A \cdot \ln 2}{\mu \cdot T_{1/2}}. \quad (6.2)$$

**Экспозиционная доза ( $X$ , или  $D_{\text{эксп}}$ ).** Экспозиционная доза излучения представляет собой отношение суммарного заряда  $dQ$  ионов, образовавшихся в некоторой массе воздуха  $dm$  под действием рентгеновского или гамма-излучения, к величине этой массы

$$D_{\text{эксп}} = \frac{dQ}{dm}. \quad (6.3)$$

Экспозиционная доза определяется только для воздуха и только для фотонного излучения (рентгеновское, гамма-излучение), т. е. она характеризует степень ионизации окружающей воздушной среды.

Из выражения для  $D_{\text{эксп}}$  следует, что системная единица измерения экспозиционной дозы 1 Кл/кг. Но на практике обычно применяется внесистемная единица – 1 рентген (Р). Это такая доза рентгеновского или гамма-излучения, которая вызывает в одном кубическом сантиметре воздуха при нормальных условиях образование  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов.  $1 \text{ Р} = 3,33 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$ .

**Поглощенная доза ( $D_{\text{погл}}$ )** – мера радиационного эффекта облучения. Характеризует энергию излучения, переданную телу определенной массы. Фундаментальная дозиметрическая величина. Единица измерения в системе СИ – Гр (Грей), внесистемная – рад (радиационная адсорбированная доза).  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ .

Если известна экспозиционная доза в рентгенах, поглощенная доза для организма человека определяется как

$$D_{\text{погл}} [\text{Гр}] \approx 100 D_{\text{эксп}} [\text{Р}]. \quad (6.4)$$

**Эквивалентная доза ( $D_{\text{эkv}}$ )** – мера биологического эффекта облучения в зависимости от вида ИИ. Произведение поглощенной дозы данного вида излучения и соответствующего взвешивающего коэффициента  $W_R$ .

$$D_{\text{эkv}} = D_{\text{погл}} \cdot W_R. \quad (6.5)$$

Единица измерения эквивалентной дозы в системе СИ – Зв (Зиверт), внесистемная единица – бэр (биологический эквивалент рада). 1 Зв = 100 бэр.

**Эффективная эквивалентная доза ( $D_{\text{эфф}}$ )** – мера риска возникновения отдаленных последствий облучения с учетом радиочувствительности различных органов. Произведение эквивалентной дозы и соответствующего взвешивающего коэффициента для органа (ткани)  $W_T$ . Системная единица измерения – Зв (Зиверт), внесистемная – Бэр (биологический эквивалент рентгена/рада)

$$D_{\text{эkv.эфф.}} = \sum (D_{\text{эkv.}} \cdot W_T). \quad (6.6)$$

Таблица 6.2

Взвешивающие коэффициенты  $W_R$

Вид излучения	$W_R$ , Зв/Гр
Рентгеновское и $\gamma$ -излучение	1
Электроны и позитроны, $\beta$ -излучение	1
Нейтроны с энергией:	
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
менее 10 кэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
$\alpha$ -частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Таблица 6.3

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов  $W_T$ 

Орган или ткань	Взвешивающий коэффициент $W_T$
Гонады	0,20
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное*	0,05

**Мощность дозы (Р)** – приращение дозы (поглощенной, эквивалентной, эффективной) за интервал времени к этому интервалу. Единицы измерения: Зв/год, Гр/ч, рад/с и т. д.

**Определение доз облучения от точечных источников  $\gamma$ -излучения.** Величина мощности экспозиционной дозы от точечного источника прямо пропорциональна активности радионуклида и обратно пропорциональна расстоянию до него

$$P_{\text{эксп}} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2}, \quad (6.7)$$

где  $P_{\text{эксп}}$  – мощность экспозиционной дозы, Р/ч;  $K_{\gamma}$  – гамма-постоянная радионуклида, Р/см<sup>2</sup>/(ч·мКи) (табл. 6.4).

Гамма-постоянная показывает, какую мощность экспозиционной дозы создает данный радионуклид активностью 1 мКи на расстоянии 1 см. За эталон принят радий-226 массой 1 мг, заключенный в платиновую упаковку толщиной 0,5 мм, который создает на расстоянии 1 см мощность дозы  $D_{\text{эксп}} = 8,4$  Р/ч.

$A$  – активность радионуклида, мКи;

$R$  – расстояние от точечного источника до места измерения, см.

Экспозиционная доза, таким образом, равна

$$D_{\text{эксп}} = P_{\text{эксп}} \cdot t = \frac{K_{\gamma} \cdot A \cdot t}{R^2}. \quad (6.8)$$

**Определение эквивалентной дозы.** Зная мощность эквивалентной дозы облучения на высоте 1 м от поверхности земли, можно определить дозу, полученную человеком

$$D_{\text{экв}} = P_{\text{экв}} \cdot t \cdot K, \quad (6.9)$$

где  $D_{\text{экв}}$  – эквивалентная доза облучения человека, Зв;  $P_{\text{экв}}$  – мощность эквивалентной дозы облучения, Зв/ч;  $K$  – дозовый коэффициент (0,7);  $t$  – время нахождения человека в данном районе, ч.

$$P_{\text{экв}} = P_{\text{изм}} - P_{\text{ф}},$$

где  $P_{\text{изм}}$  – измеренное значение мощности эквивалентной дозы, Зв/ч;  $P_{\text{ф}}$  – измеренное фоновое значение мощности дозы, Зв/ч.

Таблица 6.4

Гамма-постоянная различных радиоуклидов

Радионуклид	Период полураспада, лет (ч, сут)*	Гамма-постоянная, Р/см <sup>2</sup> /(ч·мКи)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Аргон-42	1,8 ч	6,6
Бром-82	35,3 ч	14,5
Гафний-249	2,6	$1,73 \cdot 10^{-4}$
Европий-152	13,2	6,284
Европий-154	8,5	6,537
Йод-131	8 сут	1,69
Калий-40	$1,28 \cdot 10^9$	0,774
Калий-42	12,36 ч	1,337
Кобальт-60	5,272	12,93
Криптон-85	10,71	$1,29 \cdot 10^{-2}$
Лантан-140	5,3	11,14
Марганец-52	271 сут	18,3
Марганец-56	2,6 ч	2,28
Медь-64	12,7 ч	1,12
Мышьяк-74	26 ч	4,43
Натрий-22	2,6	11,9

1	2	3
Прометий-147	2,6	$1,49 \cdot 10^{-5}$
Радий-226	1620	9,36
Рутений-106	1	1,56
Стронций-90	29,1	2,94
Титан-44	47,3	0,65
Уран-235	$6,85 \cdot 10^8$	0,710
Цезий-134	2,06	8,6
Цезий-137	30	3,24

**Примечание.** Указаны периоды полураспада в часах и в сутках, в остальных случаях – период полураспада дается в годах.

Если человек в течение года пребывает в разных помещениях или участках работы с существенно различающимися значениями  $P$ , для него эффективная годовая доза облучения составит

$$D_{\text{экв}} = K \cdot \sum (P_n \cdot t_n), \quad (6.10)$$

где  $P_n$  – мощность эквивалентной дозы в  $n$ -ом помещении или на  $n$ -ом участке, Зв/ч;  $t_n$  – время пребывания в  $n$ -ом помещении или на  $n$ -ом участке, ч.

## 6.2. Источники ионизирующих излучений

Можно привести следующую классификацию источников ионизирующих излучений, оказывающих радиационное воздействие на человека:

1. Естественные источники ионизирующих излучений:
  - космического происхождения (третий  $^3\text{H}$ , радиоуглерод  $^{14}\text{C}$ );
  - земного происхождения (радий  $^{226}\text{Ra}$ , калий  $^{40}\text{K}$ , радон  $^{222}\text{Rn}$ , уран  $^{235}\text{U}$ )
2. Технологически измененный фон: полеты на самолетах, угольные ТЭС, отопление жилищ, приготовление пищи, продукты переработки фосфоритов, озоновые дыры.
3. Искусственные источники излучений: в среде обитания (ускорители заряженных частиц, городские свалки, медицина); атомные предприятия (отвалы урановых шахт, отходы обогатительных заводов); ядерные взрывы (аварии на подводных лодках, космических аппаратах, испытания ядерного оружия).

Ионизирующее излучение от естественных источников радиации является неотъемлемым экологическим фактором окружающей природной среды, приводящим к облучению любого объекта биосферы.

Из естественных радионуклидов особо значимую роль играет не имеющий цвета и запаха инертный газ радон. В настоящее время радон считается одним из наиболее опасных «невидимых врагов» человека. Газ без цвета, запах, тяжелее воздуха в 8 раз. Газ является мощным  $\alpha$ -излучателем. Имеет склонность скапливаться в подвалах зданий и на первых этажах. В пределах нашей страны радон содержится: в приземном слое воздуха, подпочвенном воздухе, в подземных водах, в источниках питьевого водоснабжения, в природном газе.

Из искусственных источников основной вклад в глобальную дозу обеспечивают источники излучения, применяемые в медицине, главным образом, источники рентгеновского излучения, используемые для диагностики. Суммарная индивидуальная эффективная доза для жителей Российской Федерации оценивается в 3,5 мЗв/год, а для населения мира – 3 мЗв/год.

### **6.3. Воздействие ионизирующего излучения на живые организмы**

При воздействии излучений на живые организмы происходит поглощение энергии излучения, а затем в тканях и отдельных клетках совершаются физико-химические и биологические процессы. В конечном итоге каждая отдельная клетка живого организма может быть убита, частично повреждена или в ней могут быть нарушены какие-либо функции. Под прямым действием понимают возбуждение белковых молекул. Если речь идет о непрямом действии, то имеется в виду радиолиз воды, которой в клетках 70% и более, и взаимодействие продуктов радиолиза с органическими веществами.

Облучение организма может быть *внешним* (источник излучения находится вне его) и *внутренним* (источник излучения – внутри него). При внешнем облучении наиболее опасны  $\gamma$ -излучатели, так как  $\gamma$ -лучи обладают большой проникающей способностью и поражают все органы человека или животного.  $\alpha$ -излучатели более опасны как внутренние источники, так как  $\alpha$ -частицы обладают малым пробегом в веществе, и вся их энергия поглощается в том органе, где находится излучатель.

Облучение может приводить к биологическим изменениям в организме, а само заболевание названо лучевой болезнью. *Лучевая болезнь* – это комплексная реакция организма на количество и интенсивность поглощенной энергии, она относится к пороговым эффектам воздействия ионизирующего излучения. Постоянное облучение малыми дозами может вызвать *хроническую форму лучевой болезни* или отрицательные последствия в более поздний период жизни. К такому же результату приводит попадание внутрь организма радиоактивных веществ через органы дыхания, раны, ожоги, с пищей, жидкостями. Такая форма лучевой болезни излечима, но необходимо прекратить облучение.

*Острые* поражения (*острая лучевая болезнь*) наступают при облучении большими дозами в течение короткого промежутка времени.

Облучение глаз при дозе 0,02...0,10 Зв/год в течение 10–20 лет приводит к гибели клеток хрусталика глаза, появлению помутневших участков хрусталика (катаракте), а затем и к постоянной слепоте. Рак – наиболее серьезное из всех последствий облучения человека при малых дозах (стохастические эффекты облучения). Вероятность заболевания раком растет пропорционально дозе облучения. Первыми в группе раковых заболеваний стоят лейкозы, они вызывают гибель людей в среднем через 5–10 лет с момента облучения.

#### **6.4. Устройства обнаружения и измерения ионизирующих излучений**

К устройствам обнаружения и измерения ионизирующих излучений относятся детекторы, дозиметры, радиометры и спектрометры.

**Детектор ионизирующего излучения** – это устройство, преобразующее энергию излучения в другой вид энергии, удобный для последующей регистрации.

Детекторы используются в составе дозиметров, радиометров и спектрометров.

**Дозиметр** – это устройство, предназначенное для измерения дозы или мощности дозы. Число импульсов, создаваемых излучением в детекторе, пропорционально числу ионов, создаваемых этим излучением в воздухе. Это позволяет, измерив число импульсов в единицу времени, определить мощность экспозиционной дозы.

Для целей радиационного мониторинга важно знать мощность дозы, поглощаемой биологической тканью в данной области пространства. Для этого измерители мощности поглощенной дозы отградуированы для биологической ткани. Поскольку дозиметры, используемые для обеспечения радиационной безопасности, измеряют мощность ионизирующего фотонного и бета-излучения, взвешивающий коэффициент которых равен 1, то вместо единиц поглощенной дозы (Гр) используют единицы эквивалентной дозы (Зв).

**Радиометр** – это прибор, предназначенный для измерения активности. Если геометрия взаимного расположения детектора и источника излучения не меняется, то число импульсов, зарегистрированных прибором, пропорционально числу распавшихся в этом источнике ядер. Таким образом, число импульсов в единицу времени, называемое скоростью счета, пропорционально активности – числу распадов в единицу времени. Коэффициент пропорциональности зависит от большого числа факторов (например, от эффективности разрешающего времени детектора, удаленности детектора от источника, поглощения излучения в среде между детектором и источником и др.) и может быть либо рассчитан с учетом всех этих факторов, либо определен экспериментально с помощью источника с известной активностью.

**Спектрометр** – это прибор, позволяющий измерять спектр излучения, то есть распределение ионизирующих частиц по энергиям. Это сложные и дорогие приборы, в состав которых входят высокочувствительные детекторы и многоканальные электронные системы анализа импульсов. Спектр излучения дает наиболее полную информацию как непосредственно об излучении, так и об источнике этого излучения (его составе, свойствах) и процессах взаимодействия излучения с веществом.

Основными направлениями измерений, выполняемых с помощью соответствующих дозиметров и радиометров, являются:

- измерение доз внешнего облучения – индивидуального и коллективного;
- измерение потоков  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц с загрязненных поверхностей человеческого тела и окружающих человека предметов;
- измерение радиоактивности воздуха;
- измерение радиоактивности воды и пищевых продуктов;
- измерение радиоактивности почв и растительности.

## 6.5. Нормирование ионизирующих излучений

СанПиН 2.6.1.2523–09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения. Основные санитарные правила и нормативы обеспечения радиационной безопасности (Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010) устанавливают требования по защите людей от вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения, на которые распространяется действие НРБ-09/2009.

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

Ответственность за соблюдение настоящих Норм устанавливается в соответствии со статьей 52 Федерального Закона Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

**Основные дозовые пределы** – предельно допустимые дозы (ПДД) облучения (для категории А) и пределы дозы (ПД) (для категории Б) за календарный год. ПДД и ПД измеряются в миллизивертах в год (мЗв/год).

ПДД и ПД не включают в себя дозы естественного фона и дозы облучения, получаемые при медицинском обследовании и лечении.

**ПДД** – наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы облучения за календарный год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

**ПД** – основной дозовый предел, при котором равномерное облучение в течение 70 лет не вызывает изменений здоровья, обнаруживаемых современными методами.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 года.

В нормах радиационной безопасности НРБ-99/09 установлены:

1) три категории облучаемых лиц:

– категория А – персонал (профессиональные работники);

– категория Б – профессиональные работники, не связанные с использованием источников ионизирующих излучений, но рабочие места которых расположены в зонах воздействия радиоактивных излучений;

– категория В – население области, края, республики, страны;

2) три группы критических органов:

– 1-я группа – все тело, половые органы, костный мозг;

– 2-я группа – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к 1-й и 3-й группам;

– 3-я группа – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, стопы;

3) основные дозовые пределы, допустимые для лиц категории А, Б и В.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Основные дозовые пределы, мЗв/год (НРБ-99/2009)

Категория облучаемых лиц	Группа критических органов		
	1-я	2-я	3-я
А	20	150	500
В	1	15	50

**Примечание.** Дозы облучения для персонала категории Б не должны превышать  $\frac{1}{4}$  значений для персонала категории А.

## 6.6. Защита от ионизирующего излучения

Существуют различные способы защиты от ионизирующих излучений: защита расстоянием, временем, экранированием источника излучения и количеством (мощностью) источников.

«Защита расстоянием» основана на том, что интенсивность облучения уменьшается пропорционально квадрату расстояния

между источником излучения и работающим. «Защита временем» заключается в уменьшении продолжительности контакта человека с источником излучения. «Защита экранированием» – укрытие источника излучения конструкционными материалами, хорошо поглощающими излучение: свинцом, железом, бетоном, алюминием, свинец содержащим стеклом и др. «Защита количеством» заключается в уменьшении мощности источников до минимальных величин.

Поток  $\alpha$ -частиц полностью поглощается листом бумаги; поток  $\beta$ -частиц полностью поглощается тонким слоем алюминия; поток  $\gamma$ -частиц поглощается свинцовой пластиной и различными бетонными плитами с наполнителями из металла.

**Расчет толщины защитного экрана при гамма-излучении.** Толщина экрана рассчитывается исходя из требуемой кратности ослабления гамма-излучения. Кратность ослабления – это отношение мощности дозы без защитного экрана  $P_0$  к мощности дозы  $P_d$  в том же месте с экраном (допустимой мощности дозы). В качестве допустимой дозы принимается недельная экспозиционная доза  $0,1 P$ , а в качестве дневной –  $0,017 P$ .

Толщина защитного экрана из соответствующего материала выбирается из таблиц. В табл. 6.6 приведены значения толщины свинцового экрана в зависимости от энергии гамма-излучения и кратности ослабления.

## 6.7. Задания для самостоятельной работы

**Задача 6.8.1.** Среднее содержание Ra в живом веществе составляет  $10^{11} \dots 10^{12} \%$  от массы организма. Подсчитайте вашу личную радиоактивность, обусловленную распадом радия.

**Задача 6.8.2.** Оценить опасность облучения оператора от точечного источника гамма-излучения, находящегося на расстоянии  $R$  от рабочего места. (Рассчитать экспозиционную дозу и перевести ее в эквивалентную.) Оценить опасность, сравнив ее с дневной допустимой экспозиционной дозой (см. выше), а также с годовой эффективной эквивалентной по табл. 6.5, считая, что облучается все тело, т. е. 1-я группа органов. Вид и активность радионуклида, а также расстояние приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.6

Значения толщины свинцового экрана в зависимости от энергии гамма-излучения и кратности ослабления

$k$	Энергия $\gamma$ -излучения, МэВ															
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,662	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	4,0
1,5	0,02	0,05	0,12	0,21	0,32	0,39	0,45	0,48	0,58	0,66	0,74	0,89	1,0	1,2	1,4	1,4
2	0,03	0,08	0,19	0,34	0,36	0,65	0,75	0,80	0,97	1,1	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,2
5	0,06	0,17	0,42	0,76	1,1	1,5	1,7	1,8	2,1	2,4	2,7	3,2	3,7	4,4	4,7	4,7
8	0,08	0,21	0,54	0,97	1,4	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,4	4,1	4,7	5,5	5,9	5,9
10	0,08	0,24	0,59	1,1	1,6	2,0	2,3	2,5	3,0	3,4	3,8	4,5	5,2	6,0	6,5	6,5
20	0,11	0,30	0,76	1,4	2,0	2,6	3,0	3,2	3,8	4,3	4,8	5,7	6,6	7,6	8,3	8,2
30	0,12	0,34	0,86	1,5	2,3	3,0	3,4	3,6	4,3	4,8	5,4	6,4	7,4	8,6	9,3	9,3
40	0,14	0,37	0,93	1,7	2,5	3,2	3,6	3,8	4,6	5,2	5,8	6,9	8,0	9,2	10,0	10,0
50	0,14	0,39	0,98	1,8	2,6	3,4	3,8	4,0	4,8	5,5	6,1	7,3	8,4	9,7	10,6	10,6
60	0,15	0,40	1,0	1,8	2,7	3,5	4,0	4,2	5,0	5,7	6,4	7,6	8,7	10,1	11,0	11,0
80	0,16	0,43	1,1	2,0	2,9	3,7	4,2	4,5	5,4	6,1	6,8	8,1	9,3	10,8	11,8	11,7
100	0,17	0,45	1,2	2,1	3,0	3,9	4,4	4,7	5,6	6,4	7,1	8,4	9,7	11,3	12,3	12,3
200	0,20	0,52	1,3	2,4	3,5	4,5	5,1	5,4	6,4	7,3	8,1	9,6	11,1	12,8	14,0	14,0
500	0,24	0,60	1,5	2,7	4,0	5,2	5,9	6,2	7,4	8,4	9,4	11,1	12,8	14,9	16,3	16,3
1000	0,28	0,67	1,7	3,0	4,4	5,7	6,5	6,9	8,2	9,3	10,4	12,3	14,1	16,4	17,9	17,9
2000	0,31	0,74	1,9	3,3	4,9	6,3	7,1	7,6	9,0	10,2	11,3	13,4	15,5	17,9	19,6	19,6
5000	0,35	0,82	2,1	3,7	5,4	7,0	8,0	8,4	10,0	11,3	12,6	14,9	17,2	19,8	21,8	21,8
$10^4$	0,38	0,89	2,3	4,0	5,8	7,6	8,6	9,1	10,8	12,2	13,5	16,0	18,5	21,3	23,4	23,5
$2 \cdot 10^4$	0,42	0,95	2,4	4,3	6,3	8,1	9,2	9,7	11,5	13,2	14,5	17,2	19,7	22,8	25,1	25,1
$5 \cdot 10^4$	0,46	1,0	2,6	4,7	6,8	8,8	10,0	10,6	12,5	14,2	15,7	18,6	21,4	24,7	27,2	27,3
$1 \cdot 10^5$	0,50	1,1	2,8	5,0	7,2	9,3	10,6	11,2	13,3	15,0	16,7	19,7	22,7	26,2	28,9	29,0
$2 \cdot 10^5$	0,53	1-2	3,0	5,3	7,7	9,9	11,2	11,8	14,1	15,9	17,6	20,9	24,0	27,7	30,5	30,6
$5 \cdot 10^5$	0,58	1,2	3,2	5,6	8,2	10,6	12,0	12,7	15,1	17,0	18,9	22,3	25,7	29,6	32,6	32,8
$1 \cdot 10^6$	0,61	1,3	3,4	5,9	8,6	11,1	12,6	13,3	15,8	17,9	19,8	2,4	27,0	31,1	34,2	34,4

## Варианты к задаче 6.8.2

№ вар.	Радионуклид	Активность $A$ , мКи	Расстояние $R$ , м
1	Кобальт-60	2	0,40
2	Стронций-90	4	0,50
3	Йод-131	6	0,80
4	Цезий-137	8	0,70
5	Уран-235	10	0,65
6	Радий-226	12	0,45
7	Аргон-42	15	0,9
8	Рутений-106	16	1,50
9	Бром-82	13	0,55
10	Лантан-140	11	0,75
11	Марганец-56	7	0,45
12	Медь-64	5	0,45
13	Рутений-106	14	0,80
14	Европий-152	10	0,85
15	Гафний-249	13	0,75
16	Кобальт-60	3	0,80
17	Стронций-90	5	1,20
18	Йод-131	12	0,50
19	Цезий-137	8	1,40
20	Уран-235	15	2,00
21	Радий-226	6	1,80
22	Аргон-42	9	0,75
23	Бром-82	10	0,50
24	Лантан-140	14	1,50
25	Марганец-56	9	2,20
26	Медь-64	8	0,45
27	Рутений-106	12	0,60
28	Европий-152	8	0,85
29	Гафний-249	10	1,00
30	Кобальт-60	6	1,30
31	Цезий-137	5	2,50
32	Уран-235	10	3,00
33	Радий-226	4	0,90
34	Аргон-42	3	0,70

**Задача 6.8.3.** Определить эффективную эквивалентную дозу облучения работника, если у него облучаются следующие органы (см. табл. 6.8 по варианту), и эквивалентная доза за год, приходящаяся на эти органы, составляет  $D_1$  и  $D_2$ . Сделать вывод об опасности этой дозы, исходя из основных пределов доз, при условии, что работник относится к категории облучаемых лиц В.

Таблица 6.8

Варианты к задаче 6.8.3

№ варианта	Облучаемые органы или ткани	$D_1, \text{мЗв}$	Облучаемые органы или ткани	$D_2, \text{мЗв}$
1	Желудок	100	Печень	100
2	Красный костный мозг	500	Легкие	450
3	Гонады (половые железы)	250	Кишечник	720
4	Легкие	230	Желудок	120
5	Печень	240	Грудная клетка	250
6	Кисти рук	480	Легкие	200
7	Стопы ног	820	Кишечник	60
8	Кишечник	380	Желудок	400
9	Щитовидная железа	450	Зубы	40
10	Красный костный мозг	80	Легкие	350
11	Печень	45	Кисти рук	520
12	Кишечник	330	Грудная железа	120
13	Зубы	100	Кожа	440
14	Гонады	25	Зубы	10
15	Стопы ног	230	Предплечья	320
16	Легкие	50	Кишечник	800
17	Мочевой пузырь	520	Селезенка	200
18	Толстый кишечник	180	Пищевод	330
19	Костная ткань	700	Легкие	660
20	Кожа	30	Печень	650

**Задача 6.8.4.** Выполнить оценку годовой эффективной дозы облучения работника (категория Б), если он в течение года работал на двух участках с измеренной мощностью соответственно равной  $P_{\text{изм1}}$  и  $P_{\text{изм2}}$  и естественным гамма-фоном соответственно равным  $P_{\text{ф1}}$  и  $P_{\text{ф2}}$ . На первом участке он работал  $t_1$  и  $t_2$  (табл. 6.9).

При определении эффективной эквивалентной дозы принимается, что все тело облучается равномерно.

Таблица 6.9

## Варианты к задаче 6.8.4

№ варианта	Мощность измеренной дозы, мкЗв/ч		Естественный гамма-фон, мкЗв/ч		Время, ч	
	$P_{изм1}$	$P_{изм2}$	$P_{ф1}$	$P_{ф2}$	$t_1$	$t_2$
1	0,9	1,3	0,009	0,012	1200	800
2	1,0	1,2	0,008	0,015	1300	850
3	0,8	1,4	0,009	0,011	1250	750
4	1,1	0,8	0,010	0,012	900	950
5	0,9	1,5	0,008	0,013	1300	800
6	1,2	0,9	0,011	0,010	900	1100
7	1,4	0,8	0,015	0,009	750	1250
8	1,5	1,1	0,010	0,014	800	1300
9	1,3	0,8	0,012	0,009	850	1100
10	1,0	1,2	0,009	0,011	1250	900
11	1,0	0,8	0,008	0,011	1250	750
12	0,8	1,5	0,011	0,012	900	950
13	1,1	0,9	0,015	0,013	1300	800
14	0,9	0,8	0,010	0,010	900	1100
15	1,2	1,1	0,012	0,009	750	1250
16	1,4	0,8	0,009	0,012	800	1300
17	1,5	1,2	0,009	0,015	850	1100
18	1,3	1,3	0,008	0,011	1250	900
19	1,0	1,2	0,009	0,012	750	800
20	0,9	1,4	0,010	0,010	800	850

**Задача 6.8.5.** В соответствии с категорией облучаемых лиц, группой критических органов и режимом работы (табл. 6.10) определить основные дозовые пределы, эффективную эквивалентную дозу от излучения и сделать вывод о соответствии радиационной обстановки на рабочих местах нормам радиационной безопасности.

Таблица 6.10

## Варианты к задаче 6.8.5

№	Категория облучаемых лиц	Облучаемые органы	Вид излучения	Поглощенная доза, мГр
1	2	3	4	5
1	A	Все тело	$\alpha$ -излучение с энергией < 10 МэВ	10

1	2	3	4	5
2	Б	Желудок	Ядра тяжелых атомов	20
3	Б	Щитовидная железа	$\beta$ -излучение	75
4	А	Печень, почки	Протоны с энергией < 10 МэВ	10
5	Б	Легкие	Нейтроны с энергией 0,1...10 МэВ	20
6	А	Голени и стопы	$\gamma$ -излучение	15
7	Б	Кожный покров	Рентгеновское излучение	50
8	Б	Органы пищеварения	Нейтроны с энергией < 0,2 МэВ	15
9	А	Костная ткань	$\alpha$ -излучение	25
10	Б	Мышцы	Протоны с энергией < 10 МэВ	35
11	А	Легкие	$\beta$ -излучение	10
12	Б	Кисти рук	$\gamma$ -излучение	76
13	А	Кожный покров	Рентгеновское излучение	32
14	Б	Печень, почки	Нейтроны с энергией 0,1,,10 МэВ	53
15	А	Все тело	Нейтроны с энергией < 0,02 МэВ	40
16	А	Кожный покров	$\alpha$ -излучение	20
17	Б	Все тело	$\gamma$ -излучение	25
18	Б	Печень, почки	Нейтроны с энергией < 0,02 МэВ	12
19	А	Легкие	Протоны с энергией < 10 МэВ	5
20	Б	Органы пищеварения	Рентгеновское излучение	10
21	А	Кожный покров	Рентгеновское излучение	32
22	Б	Печень, почки	Нейтроны с энергией 0,1,,10 МэВ	53

**Задача 6.8.6.** Определить толщину защитного экрана из свинца, если мощность экспозиционной дозы гамма-излучения без защиты на рабочем месте составляет  $P$ , мР/ч. Время работы составляет  $t$  часов в неделю. Исходные данные приведены в табл. 6.11.

## Варианты к задаче 6.8.6

№ вар.	Энергия $E_\gamma$ , МэВ	Мощность дозы $P$ , мР/ч	Время работы $t$ , час
1	0,662	280	40
2	0,600	220	35
3	0,800	140	40
4	1,000	250	32
5	0,500	240	40
6	1,250	220	28
7	1,500	240	30
8	1,000	270	37
9	0,660	320	28
10	0,400	450	25
11	0,756	140	34
12	0,923	250	25
13	0,850	240	33
14	0,900	220	40
15	0,450	240	26
16	1,250	220	40
17	1,500	240	21
18	1,000	270	31
19	0,660	320	34
20	0,400	450	29
21	0,995	300	23
22	0,670	320	36
23	1,300	130	25
24	0,670	220	30
25	0,480	200	22
26	0,700	250	29
27	0,250	300	39
28	0,890	350	28
29	1,200	210	38
30	1,000	170	23
31	0,390	420	35
32	0,850	250	24
33	0,440	130	39
34	0,900	220	37

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «ионизирующее излучение».
2. Охарактеризуйте различные виды ИИ.
3. Перечислите единицы активности и дозы ионизирующих излучений.
4. В чем заключается биологическое действие ионизирующих излучений?
5. Опишите механизм действия ИИ на биологические объекты.
6. Что такое внешнее и внутреннее облучение?
7. Какие последствия относятся к пороговым эффектам ионизирующего излучения? К стохастическим эффектам?
8. Что такое лучевая болезнь? Каковы ее проявления?
9. Приведите классификацию ионизирующих излучений и перечислите источники их возникновения.
10. Назовите основные методы защиты от ИИ.
11. Как осуществляется нормирование ионизирующих излучений?
12. Что такое дозиметрический контроль?
13. Дайте определение понятиям «дозиметры», «радиометры».
14. Какой величиной оценивается суммарная доза естественного радиационного фона для жителей России?
15. Какой источник искусственных ионизирующих излучений вносит наибольшую долю по сводным данным о масштабах радиационных воздействий на человека?
16. Какой источник естественных ионизирующих излучений вносит наибольшую долю по сводным данным о масштабах радиационных воздействий на человека?
17. В чем заключается радоновая проблема?
18. До какого значения уровень облучения считается безопасным?
19. Какое значение средней годовой эффективной дозы установлено для населения «Нормами радиационной безопасности-99/2009»?
20. При каком значении эквивалентной дозы при облучении наступает смерть?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
3. Дроздов В. Ф. Отопление и вентиляция: учеб. пособие в 2-х ч. М.: Высшая школа, 2000. Часть 2. Вентиляция. 263 с.
4. Девисилов В. А. Охрана труда. М.: Инфра-М. 2003. 400 с.
5. ГН 2.1.5.686- 98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998.
6. ГН 2.2.5.685-96. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1996.
7. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Примеры и расчеты по курсу БЖД. Минск: Минский радиотехнический институт, 2003.
9. Кнорринг Г. М. и др. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Л.: Энергия, 1976. 384 с.
10. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
11. ИЕК Таблицы коэффициентов использования светового потока. 2018 г. URL: [https://www.iek.ru/products/standard\\_solutions/download/svetovoye-pribory-iek---tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf](https://www.iek.ru/products/standard_solutions/download/svetovoye-pribory-iek---tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf)
12. Красногорская Н. Н., Кострюкова Н. В., Исаева О. Ю. Основы радиационной безопасности: учеб. пособие с грифом УМО. Уфа: УГАТУ, 2011. 155 с.
13. Ганцева Е. М., Терпигорева И. В., Фащевская Т. Б., Эйдемиллер Ю. Н. Расчет параметров микроклимата производственных помещений: метод. указания к практическому занятию. Уфа: УГАТУ, 2006. 43 с.
14. Белов С. В. и др. Средства защиты в машиностроении: расчет и проектирование: справочник / под общ. ред. С. В. Белова. М.: Машиностроение, 1989. 365 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

*Таблица П1*

Категории работ на основе интенсивности энергозатрат организма

Категория работ	Интенсивность энергозатрат	Характеристика работы
Ia	до 120 ккал/ч (до 139 Вт)	Работы, производимые в положении сидя
Iб	121–150 ккал/ч (140–174 Вт)	Работы, производимые не только в положении сидя, но и в положении стоя и (или) связанные с ходьбой
IIa	151–200 ккал/ч (175–232 Вт)	Работы, связанные с ходьбой и перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя и (или) сидя
IIб	201–250 ккал/ч (233–290 Вт)	Работы, связанные с ходьбой и перемещением изделий или предметов до 10 кг в положении стоя и (или) сидя
III	более 250 ккал/ч (более 290 Вт)	Работы, связанные с постоянными передвижениями, а также перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей

*Таблица П2*

Отнесение условий труда по классу (подклассу) условий труда при воздействии параметров микроклимата при работе в помещении с нагревающим микроклиматом

Показатель	Категория работ	Класс (подкласс) условий труда						
		оптимальный	допустимый	вредный			опасный	
		1	2	3,1	3,2	3,3	3,4	4
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>				
Температура воздуха, °С	Ia	22,0–24,0	24,1–25,0	Определяется величиной ТНС-индекса (в соответствии с прил. № 13 к методике СОУТ)				
	Iб	21,0–23,0	23,1–24,0					
	IIa	19,0–1,0	21,1–23,0					
	IIб	17,0–19,0	19,1–22,0					
	III	16–18,0	18,1–21,0					
Скорость движения воздуха, м/с	Ia	≤ 0,1	≤ 0,1	Учитывается при определении ТНС-индекса. При скорости движения воздуха, большей или равной 0,6 м/с, условия труда признаются вредными (подкласс 3.1)				
	Iб	≤ 0,1	≤ 0,2					
	IIa	≤ 0,2	≤ 0,3					
	IIб	≤ 0,2	≤ 0,4					
	III	≤ 0,3	≤ 0,4					

1	2	3	4	5				
Влажность воздуха, %	I–III	60–40	15 – < 40; > 60–75	Учитывается при определении ГНС-индекса, При влажности воздуха < 15 – 10% условия труда признаются вредными условиями труда (подкласс 3.1); при влажности воздуха <10% условия труда признаются вредными условиями труда (подкласс 3.2),				
Интенсивность теплового излучения ( $I_{\text{то}}$ ), Вт/м <sup>2</sup>	I–III	–	≤ 140	141–1500	1501 – 2000	2001 – 2500	2501 – 2800	> 2800
Экспозиционная доза теплового облучения, Вт·ч	I–III	–	500	1500	2600	3800	4800	> 4800

Таблица ПЗ

Влагосодержание воздуха (г вл/кг сух. в.) в зависимости от его температуры  $t$  °С и относительной влажности  $\varphi$ , % при барометрическом давлении 100 кПа

$t$ , °С \ $\varphi$ , %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5
-15	0,94	0,94	0,83	0,73	0,62	0,52	0,42	0,31	0,21	0,10	0,05
-10	1,63	1,47	1,30	1,14	0,98	0,82	0,65	0,48	0,33	0,16	0,08
-5	2,52	2,27	2,02	1,76	1,51	1,26	1,01	0,75	0,50	0,25	0,13
0	3,85	3,36	3,07	2,69	2,30	1,92	1,53	1,15	0,77	0,38	0,19
5	5,51	4,95	4,40	3,85	3,29	2,47	2,19	1,65	1,09	0,55	0,27
10	7,78	7,00	6,21	5,43	4,65	3,78	3,09	2,31	1,54	0,77	0,38
15	10,86	9,76	8,66	7,56	6,47	5,38	4,30	3,22	2,14	1,07	0,53
25	20,50	18,39	16,29	14,21	12,14	10,08	8,04	6,01	3,99	1,99	0,99
30	27,78	24,89	22,03	19,19	16,37	13,59	10,82	8,08	5,36	2,67	1,33
40	49,98	44,62	39,35	34,16	29,05	24,03	19,07	14,20	9,40	4,66	2,32
50	88,42	78,47	68,79	59,38	50,51	41,29	32,60	24,13	15,88	7,84	3,90
60	156,64	137,54	119,35	102,00	85,44	69,61	54,48	39,98	26,10	12,78	6,33
70	285,99	246,21	209,3	176,15	145,1	116,3	89,83	65,03	41,90	20,27	9,97

## Значения коэффициента использования светового потока

КСС	Косинусная Д								Глубокая Г							
	70				50		30	0	70				50		30	0
$\rho_{\text{пот}}, \%$	50		30		50	30	10	0	50		30		50	30	10	0
$\rho_{\text{пол}}, \%$	30	10	30	10	10		10	0	30	10	30	10	10		10	0
$i$	Коэффициент использования светового потока $\eta$															
0,5	36	35	30	30	34	28	25	22	58	57	55	53	57	53	49	47
0,6	43	42	35	34	40	33	28	27	68	65	62	60	64	60	57	56
0,7	48	47	41	38	45	38	33	31	74	69	68	64	69	64	61	60
0,8	54	51	45	43	49	43	37	36	78	73	72	69	72	69	66	64
0,9	57	55	48	46	52	46	41	39	81	76	75	72	75	72	70	67
1,0	60	57	52	50	55	49	45	42	84	78	78	75	77	74	72	70
1,1	64	60	55	52	58	51	47	44	87	81	80	77	79	76	74	72
1,25	69	63	60	56	61	55	50	48	90	83	84	79	82	79	76	75
1,5	75	69	67	62	67	61	55	53	94	86	88	83	85	82	79	78
1,75	79	72	71	66	70	65	60	57	97	88	92	85	86	85	82	80
2,0	83	75	75	69	73	68	64	61	99	90	95	88	88	87	84	82
2,25	86	77	79	73	76	71	66	64	101	92	97	90	90	88	85	83
2,5	89	80	82	75	78	73	69	66	103	93	99	91	91	89	87	85
3,0	93	83	86	79	81	77	73	71	105	94	102	92	93	91	89	86
3,5	96	86	90	82	83	80	76	73	107	95	104	94	94	93	90	88
4,0	99	88	93	84	85	83	79	76	109	96	105	94	94	94	91	89
5,0	105	90	98	88	88	85	81	79	111	97	108	96	96	95	92	90

Таблица П5

Нормированные значения освещенности для производственных зданий по СП 52.13330.2016 (СНиП 205–95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						освещенность, лк		при системах общего освещения	Сочетание объединенного показателя дискомфорта <i>UGR</i> и коэффициента пульсации		КЕО, $e_n$ , %		КЕО, $e_n$ , %	
						при системах комбинированного освещения	в т. ч. от общего		<i>UGR</i> , не более	$K_p$	верхнее или комбинированном освещении	боковое освещение	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
наивысшей точности	менее 0,15	I	а	мал.	темн.	5000 4500	500 500	---	19	10	---	---	6,0	2,0
			б	мал. сред.	сред. темн.	4000 3500	400 400	1250 1000	19	10				
			в	мал. сред.	светл. сред.	2500 2000	300 200	750 600	22	10				
			г	сред. бол. бол.	светл. светл. сред.	1500 1250	200 200	400 300	22	10				

Продолжение таблицы П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
очень высокой точности	от 0,15 до 0,30	II	а	мал.	темн.	4000	400	---	25	10	---	---	4,2	1,5
						3500	400	---	25	10				
			б	мал.	сред.	3000	300	750	25	10				
				сред.	темн.	2500	300	600	25	10				
			в	мал, сред, бол,	светл. сред. темн.	2000	200	500	25	10				
		1500		200	400	25	10							
г	сред. бол. бол.	светл. светл. сред.	1000	200	300	25	10							
					750	200	200	25	10					
высокой точности	от 0,3 до 0,5	III	а	мал.	темн.	2000	200	500	25	15	---	---	3,0	1,2
						1500	200	400	25	15				
			б	мал.	сред.	1000	200	300	25	15				
				сред.	темн.	750	200	200	25	15				
			в	мал. сред. бол.	светл. сред. темн.	750	200	300	25	15				
		600		200	200	25	15							
г	сред. бол. бол.	светл. светл. сред.	400	200	200	25	15							

Продолжение таблицы П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
дней точности	свыше 0,5 до 1,0	IV	а	мал.	темн.	750	200	300	25	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	мал. сред.	сред. темн.	500	200	200	25	20				
			в	мал. сред. бол.	светл. сред. темн.	400	200	200	25	20				
			г	сред. бол. бол.	светл. светл. сред.	---	---	200	25	20				
малой точности	свыше 1,0 до 5,0	V	а	мал.	темн.	400	200	300	25	20	3	1	1,8	1,6
			б	мал. сред.	сред. темн.	---	---	200	25	20				
			в	мал. сред. бол.	светл. сред. темн.	---	---	200	25	20				
			г	сред. бол. бол.	светл. светл. сред.	---	---	200	25	20				
грубая очень малой точности	более 5,0	VI	независимо от характеристик фона и контраста			---	---	200	25	20	3	1	1,8	1,6

Окончание таблицы П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	более 0,5	VII		независимо от характеристик фона и контраста		---	---	200	25	20	3	1	1,8	1,6
общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное		VIII	а	независимо от характеристик фона и контраста		---	---	200	25	20	3	1	1,8	1,6
периодическое при постоянном пребывании людей			б	независимо от характеристик фона и контраста		---	---	75	25	---	1	0,3	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей			в	независимо от характеристик фона и контраста		---	---	50	---	---	0,7	0,2	0,5	0,2
общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г	независимо от характеристик фона и контраста		---	---	20	---	---	0,3	0,1	0,2	0,1

Таблица П6

Нормированные значения освещенности для жилых и общественных зданий  
по СП 52.13330.2016 (СНиП 205–95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение				Естественное освещение	
					освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	цилиндрическая освещенность, лк	объединенный показатель $UGR$ , не более	коэффициент пульсации освещенности Кп, %, не более	КЕО, %	
									верхнее или комбинированное	боковое
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	А	1	не менее 70	500	150	21	10	4,0	1,5
			2	менее 70	400	100	21	10	3,5	1,2
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	Б	1	не менее 70	300	100	21	15	3,0	1,0
			2	менее 70	200	75	24	20	2,5	0,7
Средней точности	Более 0,5	В	1	не менее 70	150	50	24	20	2,0	0,5
			2	менее 70	100	не регламентируется	24	20	2,0	0,5

Продолжение табл. Пб

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов:	независимо от размера объекта различения			независимо от продолжительности зрительной работы				не регламентируется		
– при высокой насыщенности помещений светом		Г	–		300	100	24		3,0	1,0
– при нормальной насыщенности помещений светом		Д	–		200	75	25		2,5	0,7
– при низкой насыщенности помещений светом		Е	–		150	50	50		2,0	0,5
Общее ориентирование в пространстве интерьера:	то же	Ж	–	то же						

Окончание табл. П6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
– при большом скоплении людей			1		75	не регламентируется				
– при малом скоплении людей			2		50					
Общее ориентирование в зонах передвижения:	независимо от размера объекта различения	3		независимо от продолжительности зрительной работы						
– при большом скоплении людей			1		30					
– при малом скоплении людей			2		20					

Таблица П7

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

N п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука $L(A)$ и эквивалентные уровни звука $L(A_{\text{ЭКВ}})$ , дБа	Максимальные уровни звука $L(A_{\text{макс}})$ , дБа
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
4	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	с 7 до 23 ч	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		с 23 до 7 ч	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
5	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
		с 23 до 7 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
10	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
		с 23 до 7 ч	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	65
12	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др, учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

**Примечания:** 1. Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях устанавливаются при условии обеспечения требуемой вентиляции помещений (для жилых помещений, палат, классов – при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон).

2. Эквивалентные и максимальные уровни звук в дБА для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного, железнодорожного транспорта в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог, допускается принимать на 10 дБА выше (поправка дельта = +10 дБА), указанных в позициях 9 и 10 табл. Пб.

3. Уровни звукового давления в октавных полосах частот в дБ, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и др. инженерно–технологическим оборудованием, следует принимать на 5 дБА ниже (поправка  $\Delta = -5$  дБА), указанных в табл. Пб (поправку для тонального и импульсного шума в этом случае принимать не следует).

4. Для тонального и импульсного шума следует принимать поправку –5 дБА.