

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Производственная санитария и гигиена труда

Учебно-методический комплекс для студентов специальности
33 05 00
Заочной формы обучения с применением дистанционных
технологий

Белгород 2005

УДК 658.382(07)
ББК 65.247
П 80

Радоуцкий В. Ю., Партигул Е. О., Янишин В.В
П 80 Производственная санитария и гигиена труда

В УМК приведено влияние вредных производственных факторов на организм человека, их гигиеническое нормирование. Представлены средства и методы защиты от этих факторов (вредные вещества, шум, вибрация, ЭМП, ионизирующие и неионизирующие излучения), методы расчета средств защиты.

УМК предназначено для студентов специальности 33.05.00 «Безопасность технологических процессов и производств» дистанционной формы обучения.

Белгородский государственный
Технологический университет
(БГТУ им. Г. Шухова), 2005

Содержание

Раздел I. Вредные вещества	6
1.1. Химические опасности	6
1.1.1. Ксенобиотики	6
1.1.2. Вредные вещества	7
1.1.3. Ядохимикаты	9
1.1.4. Тяжелые металлы	11
1.1.5. Аварийные химически–опасные вредные вещества (АХОВ)	13
1.1.6. Защита от химических опасностей	21
1.2. Действие вредных веществ на организм человека.	22
1.2.1. Отравление вредными веществами	22
1.2.2. Специфические действия вредных веществ	24
1.2.3. Комбинированное действие вредных веществ	26
1.3. Воздействие негативных факторов.	28
1.3.1. Оценка негативных факторов	28
1.3.2. Ядовитые вещества	29
1.3.3. Физико-химические свойства ядов	32
1.4. Производственная пыль и борьба с ней.	38
1.4.1. Причины образования пыли и ее основные свойства	38
1.4.2. Оценка вредности пыли	41
1.4.3. Методы измерения концентрации пыли, и средства защиты от пыли	41
1.4.4. Методы измерения концентрации пыли, основанные на предварительном осаждении частиц	43
1.4.5. Методы измерения концентрации пыли без предварительного ее осаждения	43
1.4.6. Средства защиты от пыли	45
1.4.7. Методы очистки воздуха от пыли	45
1.5. Гигиеническое нормирование вредных веществ	48
1.6. Основные положения токсикологии	55
1.7. Производственная среда и условия труда	61
1.8. Классы условий труда по степени вредности и опасности	62
1.9. Производственный микроклимат и его влияние на организм человека	64
1.10. Пути создания комфортных параметров микроклимата	66
Раздел II. защита от шума и вибраций	79
2.1. Характеристика шума его воздействие на организм человека	79

2.2. Источник шума в производственных помещениях	92
2.3. Определение шумовых характеристик машин	100
2.4. Определение параметров шума на рабочих местах	
2.5. Методы снижения шума в производственных помещениях	107
2.6. Санитарно–гигиеническое нормирование уровней шума	108
2.7. Методы борьбы с шумом в производственных помещениях	115
2.7.1. Снижение структурного шума	115
2.7.2. Снижение шума методом звукопоглощения	127
2.7.3. Снижение шума методом звукоизоляции	136
2.7.3.1. Звукоизоляция однослойных ограждений	136
2.7.3.2. Звукоизоляция многослойных ограждений	138
2.7.3.3. Определение индекса изоляции воздушного шума	140
2.7.3.4. Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций	142
2.8. Классификация и действия вибрации на организм человека	144
2.9. Методы и средства коллективной защиты от вибрации	147
2.10. Расчет виброизоляции рабочих мест	148
2.10.1. Расчет стальных пружинных амортизаторов	149
2.10.2. Расчет резиновых амортизаторов	150
Раздел III. производственное освещение	154
3.1. Видимая область электромагнитного излучения	154
3.2. Характеристики освещения и световой среды	154
3.3. Виды освещения	163
3.4. Искусственные источники света	168
3.5. Светильники	173
3.6. Гигиеническое нормирование искусственного и естественного освещения	179
3.7. Расчет освещения	183
3.7.1. Методы расчета общего искусственного освещения рабочих помещений	183
3.7.2. Методы расчета естественного освещения	187
Раздел IV. Электромагнитные поля	193
4.1. Характеристики ЭМП	193
4.2. Источники ЭМП и классификация электромагнитных излучений	194
4.3. Электромагнитное поле земли – необходимое условие жизни человека	196

4.4. Воздействие электромагнитных полей на организм человека	197
4.5. Принципы нормирования электромагнитных полей	200
4.6. Нормирование ЭМП радиочастот	201
4.7. Нормирование ЭМП промышленной частоты и статических полей	203
4.8. Факторы риска при работе с компьютерами, нормы и рекомендации для защиты от ЭМП при эксплуатации компьютеров	205
4.9. Приборы для измерений напряженности электрического и магнитного полей и плотности потока энергии ЭМП	209
4.10. Методы и средства защиты от ЭМП	210
4.11. Средства защиты от электромагнитных полей радиочастот	216
Раздел V. Ионизирующее излучение	223
5.1. Физика радиоактивности	225
5.2. Влияние ионизирующего излучения	227
5.3. Биологическое действие ионизирующего излучения	237
5.4. Дозиметрические величины и единицы их измерения	239
5.5. Источники излучения	245
5.6. Измерение ионизирующего излучения	246
5.7. Нормирование радиационной безопасности	248
5.8. Защита от излучений	250
5.9. Обеспечение безопасности при работе с ионизирующим излучением	254
Раздел VI. Неионизирующие излучения	260
6.1. Лазерное излучение	260
6.2. Защита при работе с лазерами	264
6.3. Ультрафиолетовое излучение (УФИ)	268
6.4. Средства защиты от ультрафиолетовых излучений	271
6.5. Инфракрасное излучение (ИКИ)	272
6.6. Меры защиты от действия инфракрасного излучения	274
Вопросы к экзамену	281
Глоссарий	283
Список рекомендуемой литературы	286

РАЗДЕЛ I ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

1.1. Химические опасности

В научной и официальной литературе выделяют группу химических опасных и вредных факторов или просто химических опасностей.

По характеру воздействия на человека химические опасности подразделяются на токсические, раздражающие, сенсибилизирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию.

В организм человека химические опасности могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

Среди химических опасностей условно выделяют отдельные группы веществ, получившие специфические названия, например, ксенобиотики, вредные вещества, тяжелые металлы, ядохимикаты, (АХОВ) и др.

Химические опасности содержатся и в земной коре, но наибольшую угрозу представляют химические вещества искусственного происхождения.

1.1.1. Ксенобиотики

Люди, стремясь к максимальному удовлетворению своих потребностей, создают новые вещества, производят огромное количество материалов, технических устройств, предметов бытового назначения. Как правило, эти искусственные предметы, химические вещества, различные отходы обладают особыми свойствами, несовместимыми с экологическими системами и характеристиками самого человека. Они имеют конечный срок полезного использования, не разлагаются или разлагаются очень медленно, загрязняют атмосферу, гидросферу, почву, непосредственно или косвенно оказывают отрицательное влияние на людей. Например, развитие атомной энергетики, связано с появлением большого количества радиоактивных отходов, которые требуют особого обращения, так как опасны для человека и всего живого. Не решен вопрос об использовании отработавших свой срок атомных подводных лодок и кораблей. На планете накоплены огромные запасы взрывчатых веществ и химического оружия, бытовых и промышленных отходов. Над этими проблемами работают инженеры и ученые во всех странах, но пока удовлетворительных решений не найдено. Вещества и предметы искусственного происхождения, которые вредят естественной среде обитания и человеку, называют ксенобиотиками, т.е. чуждыми жизни (от греч. "ксенос" - чужой и "био" - жизнь).

Положение, сложившееся в настоящее время с накоплением ксенобиотиков в природе, определяют как антропогенный экоцид, а также как экологический кризис

Чтобы не усугублять положение, человечество должно экологизировать производства, технологии и технологические процессы, стремиться к устойчивому развитию, т.е. к сбалансированному росту потребления и возможностей природы. Ксенобиотиками являются галогеносодержащие углеводороды, которые имеют техническое название хладоны (фреоны).

Хладоны обладают привлекательными физико-химическими свойствами, мало токсичны, просты в использовании, не обладают корродирующим действием, имеют исключительно высокую пламеподавляющую способность. Хладоны применяют в качестве хладагентов, пропеллентов в аэрозольных упаковках косметических средств, как компоненты огнетушащих составов, растворители и т.д. Хладоны стали применять в промышленных масштабах с начала 30-х годов 20-го столетия.

В 1974 году учеными было высказано предположение о том, что хладоны разрушают озоновый слой, защищающий земные организмы от губительного действия ультрафиолетового излучения Солнца. Обоснованность гипотезы (F.S.Rowland, M.J.Molina) была подтверждена прямыми измерениями. Озоноразрушающее действие хладонов приводит к образованию так называемых озоновых дыр, т.е. к снижению концентрации озона, что расценивается как серьезная экологическая опасность. В 1987 году достигнуто международное соглашение - Монреальский протокол, обязывающий все страны участницы соглашения с 1994 года ограничить, а к 2000 году полностью прекратить производство и применение всех озоноразрушающих материалов.

1.1.2. Вредные вещества

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека (в условиях производства или быта) может вызвать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как непосредственно в процессе контакта с веществом, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Вредность веществ относительна. Человек создавал многие из них сознательно для каких-то полезных целей.

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на 4 класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;

4-й - вещества малоопасные

Класс опасности вредных веществ устанавливаются в зависимости от нормы и показателей, указанных в таблице 1.

Термины, приведенные в таблице, имеют следующие определения.

Средняя смертельная доза при введении в желудок: доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном введении в желудок.

Средняя смертельная концентрация в воздухе: концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % животных при двух-четырёхчасовом ингаляционном воздействии.

Смертельная доза при нанесении на кожу: доза, вызывающая гибель 50 % животных при однократном нанесении на кожу.

Коэффициент возможности ингаляционного отравления: отношение максимально достижимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей.

Зона острого действия: отношение средней смертельной концентрации вредного вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций.

Зона хронического действия: отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по 4 ч, пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев.

Тест экспозиции: показатель, характеризующий содержание вредного вещества или продуктов его превращения в организме человека (в крови, моче, выдыхаемом воздухе) или степень угнетения активности определенных ферментов, соответствующая общей поглощенной дозе вредного вещества.

Таблица 1

Классы опасности вредных веществ

Наименование показателей	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
1	2	3	4	5
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0.1	0,1-1,0	1,1-10.0	Более 10
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15-150	151-5000	Более 5000

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0-18,0	18,1*54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	Менее 2,5

Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

На предприятиях, производственная деятельность которых связана с вредными веществами, должны быть:

разработаны нормативно-технические документы по безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных веществ;

- выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий.

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при контакте с вредными веществами должны предусматривать:

- замену вредных веществ наименее вредными, сухих способов переработки пылящих материалов мокрыми;

- выпуск конечных продуктов в непылящих формах;

- замену пламенного нагрева электрическим, твердого и жидкого топлива газообразным;

- ограничение содержания примесей вредных веществ в исходных и конечных продуктах;

- применение прогрессивной технологии производства (замкнутый цикл, автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, непрерывность процессов производства) исключающей контакт человека с вредными веществами.

1.1.3. Ядохимикаты

Человек создал много химических препаратов, преследуя свои хозяйственные и иные цели. Многочисленную группу ядохимикатов представляют пестициды.

Пестициды (от лат. *pestis* - зараза и ... *цид* (ы).), ядохимикаты, химические препараты для защиты сельскохозяйственных растений от вредителей, болезней и сорняков, а также для уничтожения паразитов сельскохозяйственных животных, вредных грызунов и др. (инсектициды, фунгициды, гербициды, акарициды, зооциды и др.). К пестицидам

относятся также средства, привлекающие или отпугивающие насекомых, регулирующие рост и развитие растений, применяемые для удаления листьев, цветов, завязей и др. При использовании пестицидов неизбежно их отрицательное влияние на экосистемы и здоровье человека. Отсюда требование - использовать пестициды в минимальных количествах и лишь там, где невозможно обойтись биологическими или др. безвредными средствами.

Гербициды (от лат. *herba* - трава и ... *цид* (ы)), химические вещества из группы пестицидов, предназначенные для избирательного уничтожения нежелательной, главным образом сорной растительности. Применение гербицидов заменяет прополку сорняков. Многие из них (эрадикан, атразин, симазин), попадая в почву и водоемы, оказывают токсическое действие и могут вызвать гибель животных, растений, людей. Использование гербицидов во многих странах регламентировано законом.

Дефолианты (от де... и лат. *folium* - лист), химические вещества (бутифос, бутилкаптакс, тидрел, пуривел, хролад магния, диоксин и др.), предназначенные для провоцирования искусственного опадания листьев растений (например, для облегчения механизированной уборки хлопка). Без строжайшего соблюдения доз, мер предосторожности дефолианты представляют серьезную опасность для человека и животных.

Зооциды (от зоо... и ... *цид* (ы)), химические вещества, предназначенные для уничтожения вредных преимущественно позвоночных животных-грызунов (родентициды), в частности мышей и крыс (ратациды), а также птиц (авициды), сорной рыбы (ихтиоциды) и др.

Арборициды (от лат. *arbos* - дерево и ...*цид* - убиваю), химические вещества, предназначенные для уничтожения нежелательной древесной или кустарной растительности.

Акарициды (от греч. *akari* - клещ и ... *цид* (ы)), химические вещества, предназначенные для уничтожения вредных клещей. Различают 2 группы акарицидов: 1) специфического действия уничтожают только клещей и безвредны для др. членистоногих (Неорон, Кельтан, Тедион, Эфирсуль); 2) неспецифические - уничтожают не только клещей, но и насекомых (инсектоакарициды).

Инсектициды (от лат. *insectum* - насекомые и *цид* - убиваю), пестициды, предназначенные для борьбы с нежелательными (с точки зрения человека) в хозяйствах и природных сообществах насекомыми.

Фунгициды (от лат. *fungus* - гриб и *цид*), химические вещества, предназначенные для борьбы с грибами - возбудителями болезней, разрушающими древесные конструкции и повреждающие хранящиеся материальные ценности.

Детергенты (от лат. *detergeo* - стираю), химические соединения, понижающие поверхностное натяжение воды и используемые в качестве

моющего средства или эмульгатора. Дeterгенты - широко распространенные и опасные для человека, животных и растений, химические загрязнители воды, водоемов, почв.

1.1.4. Тяжелые металлы

Среди химических веществ, загрязняющих внешнюю среду (воздух, воду, почву), тяжелые металлы и их соединения образуют значительную группу токсикантов, оказывающих существенное неблагоприятное воздействие на человека. Высокая токсичность и опасность для здоровья человека тяжелых металлов, возможность их рассеивания в окружающей среде диктуют необходимость контроля и разработки мер защиты от них.

Опасность тяжелых металлов обусловлена их устойчивостью во внешней среде, растворимостью в воде, сорбцией почвой, растениями, что в совокупности приводит к накоплению тяжелых металлов в среде обитания человека.

Тяжелые металлы являются факторами риска сердечнососудистых заболеваний наряду с общепризнанными, традиционными факторами (избыточной массой тела, гиподинамией, нервно-эмоциональными нагрузками, курением, злоупотреблением алкоголем и др.).

Согласно прогнозам тяжелые металлы могут стать более опасными загрязнителями, чем отходы АЭС.

Однозначного определения тяжелых металлов нет.

Термин "тяжелые металлы" связан с высокой относительной атомной массой. Одним из признаков, которые позволяют относить металлы к тяжелым, является их плотность.

К тяжелым металлам относятся химические элементы с относительной плотностью более 6. Таких элементов более 40. Число же наиболее опасных тяжелых металлов, если учитывать их токсичность, стойкость и способность накапливаться во внешней среде, а также масштабы распространения, значительно меньше. Это - ртуть, свинец, кадмий, кобальт, никель, цинк, олово, сурьма, медь, молибден, ванадий, мышьяк.

Иногда к тяжелым относят металлы, плотность которых 5 г/см^3 (табл. 2.)

Таблица 2

Тяжелые металлы

Элемент	Плотность, г/см^3	Элемент	Плотность, г/см^3
1	2	3	4
Германий	5,36	Никель	8,90
Иттрий	5,51	Медь	8,92
Мышьяк	5,73	Висмут	9,80

1	2	3	4
Ванадий	5,87	Молибден	10,20
Галлий	5,91	Свинец	10,30
Лантан	6,15	Серебро	10,50
Теллур	6,24	Торий	11,20
Цирконий	6,40	Таллий	11,85
Празеодим	6,50	Палладий	11,97
Сурьма	6,68	Рутений	12,20
Церий	6,90	Родий	12,50
Неодий	6,90	Гафний	13,31
Хром	6,92	Тантал	16,60
Цинк	7,14	Уран	18,70
Марганец	7,20	Вольфрам	19,30
Олово	7,28	Золото	19,30
Индий	7,30	Рений	20,53
Самар	7,70	Платина	21,45
Железо	7,86	Иридий	22,42
Ниобий	8,40	Осмий	22,48
Кадмий	8,64		
Кобальт	8,90		

Рассеивание металлов может происходить на сотни и тысячи километров, приобретая межконтинентальные масштабы. В глобальных масштабах происходит процесс, называемый сегодня "металлическим прессом на биосферу".

Пути рассеивания металлов многообразны. Наряду со сжиганием минерального топлива важнейшим является их выброс в атмосферу при высокотемпературных технологических процессах (металлургии, обжиге цементного сырья и др.). Вместе с тем значительная часть полезных компонентов рудных ископаемых рассеивается задолго до поступления руды в металлургический передел при транспортировке, обогащении, сортировке.

Поступление тяжелых металлов в окружающую среду происходит в виде газов и аэрозолей (возгона металлов и пылевидных частиц) и в жидком виде (технологических сточных вод). В результате последних исследований подтвержден глобальный характер распространения отдельных загрязняющих веществ. Ведущая роль в переносе металлов-загрязнителей принадлежит циркуляционным процессам, которые в свою очередь определяют особенности их пространственного распределения.

Техногенные загрязнения включают в кругооборот значительно большие количества тяжелых металлов по сравнению с их природными величинами, усугубляют опасность воздействия на человека уже не биотических, а токсических концентраций указанных элементов через почву, воду, воздух, растительные и животные организмы.

Тяжелые металлы, как и другие химические элементы, в той или иной степени мигрируют из атмосферы в гидросферу, из гидросферы - в литосферу. Из атмосферы металлы и их соединения осаждаются непосредственно на землю или на растения, откуда попадают затем в почву и воды. Миграция (подвижность) элементов зависит от летучести или растворимости соединений, температуры, кислотно-щелочного равновесия и других факторов. Установлено, что процесс накопления тяжелых металлов в почве идет быстрее, чем их удаление.

Тяжелые металлы и их соединения могут поступать в организм человека через легкие, слизистые оболочки, кожу и желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Для уменьшения действия на организм тяжелых металлов необходимы профилактические меры, в том числе использование в рационе питания веществ, обладающих защитным (протекторным) действием.

С помощью протекторов можно в значительной степени предотвратить резорбцию из ЖКТ попавших в организм металлов. Кроме того, в рационе питания следует широко применять витамины В, фолиевую кислоту, витамин Д и др.

1.1.5. Аварийные химически – опасные вредные вещества (АХОВ)

Специалисты в области военного дела и гражданской обороны выделяют особую группу веществ - аварийные химически – опасные вредные вещества (АХОВ).

АХОВ - это образующиеся в больших количествах в промышленности, на транспорте, на складах химические соединения, способные при авариях переходить в атмосферу и вызывать массовое поражение людей.

Опасность АХОВ зависит от их физико-химических свойств, к которым относятся: агрегатное состояние, растворимость, плотность, гидролиз, летучесть, коэффициент диффузии, температуры кипения, вспышки, воспламенения, самовоспламеняемость и ряд других.

Свойства, характер действия и признаки поражения наиболее распространенных АХОВ показаны ниже.

Аммиак - бесцветный газ с резким запахом. Хорошо растворим в воде, перевозится и хранится в сжиженном состоянии. Аммиак является горючим газом, горит при наличии постоянного источника огня. Пары аммиака образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Емкости с аммиаком могут взрываться при нагревании. Аммиак - вещество, обладающее удушающим и нейротропным действием. Общетоксические эффекты в основном обусловлены действием аммиака на нервную систему. При этом нарушается обмен глютаминовой и кетоглутаминовой кислот в коре

головного мозга, резко снижается способность мозговой ткани усваивать кислород. Аммиак обладает курареподобным действием. Он нарушает свертываемость крови в результате прямого действия на протомбин, поражает паренхиматозные действия на протромбин, поражает паренхиматозные органы. Последствиями тяжелой интоксикации является снижение интеллектуального уровня с выпадением памяти, неврологические симптомы: тремор, нарушение равновесия, тики, понижение болевой и тактильной чувствительности, головокружение, нистагм, гиперрефлексия. Последствиями острого отравления Могут быть помутнение хрусталика, роговицы, даже ее прободение и потеря зрения, охриплость или полная потеря голоса и различные хронические заболевания (бронхит, эмфизема легких и др.). В случае малых концентраций наблюдается незначительное раздражение глаз и верхних дыхательных путей. При средних концентрациях наблюдается сильное раздражение в глазах и в носу, частое чихание, слюнотечение, небольшая тошнота и головная боль, покраснение лица и потоотделение. Наблюдается мочеиспускание и боль в области грудины. При попадании в облако с высокими концентрациями наступают резкое раздражение слизистой оболочки рта, верхних дыхательных путей и роговой оболочки глаз, приступы кашля, чувство удушья, беспокойство, головокружение, боль в желудке, рвота. При воздействии очень высоких концентраций уже через несколько минут наступают мышечная слабость с повышенной рефлекторной возбудимостью, титанические судороги, резко снижается слух. Пострадавшие иногда сильно возбуждены, находятся в состоянии буйного бреда, не способны стоять. Наблюдаются резкие расстройства дыхания и кровообращения. Смерть может наступить от сердечной слабости или остановки дыхания.

Гидразин (несимметричный диметилгидразин) $(\text{CH}_3)_2\text{-N-NH}_2$ бесцветная прозрачная жидкость, сильный восстановитель. Гидразин хорошо растворим в полярных жидкостях. Его пары хорошо адсорбируются различными пористыми материалами. Хранятся и перевозятся в жидком состоянии. Смесь гидразина с кислородом взрывоопасна, воспламеняется при контакте с окислами некоторых металлов, асбестом или углем, легко воспламеняется от искры и пламени, возможно самовозгорание, пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Емкости с гидразином могут взрываться при нагревании. Гидразин обладает удушающим и нейротропным действием. Гидразин и его производные вызывают при ингаляционном поражении токсический отек легких, на фоне которого формируются при остром отравлении тяжелые поражения центральной нервной системы, ведущие в ряде случаев к смертельному исходу. Гидразин вызывает нарушение углеводного и жирового обмена, обладает гемолитическими свойствами, гемолиз

развивается через 1,5-2 ч после острого отравления. В случае легких интоксикаций гидразином наблюдается раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей, при средних - бронхит и токсический отек легких, возбуждение, а затем депрессия, нарушение углеводной, жировой и антиоксидантной функции печени. Острое отравление вызывает затемнение сознания, желтуху, стоматит, нарушение сердечной деятельности, болезненность печени, рвоту. Смерть наступает при явлениях уремии.

Оксид углерода CO - бесцветный газ без запаха и вкуса, плохо растворяется в воде; в сжиженном состоянии бесцветная прозрачная жидкость. CO - негорюч. Пределы воспламеняемости окиси углерода в смеси с воздухом 12,5-74,2 %, смесь двух объемов с одним объемом с одним объемом кислорода взрывается при наличии открытого пламени. Оксид углерода - вещество преимущественно общеядовитого действия - яд гемоглобина. CO вытесняет кислород из оксигемоглобина, содержание кислорода может снижаться до 8 % (аноксемия). Оксид углерода способна оказывать непосредственное токсическое действие на клетки, нарушая тканевое дыхание, угнетает активность тирозиназы и сукцинатдегидрогеназы в печени, сердце и мозге. CO влияет на углеводный обмен, повышая уровень сахара в крови; нарушает фосфорный обмен, сильно возбуждает каротидные химиорецепторы, нарушает азотистый обмен, вызывая азотемию, изменение содержания белков плазмы, снижение активности холинэстеразы в крови и уровня витамина B6. При действии окиси углерода наблюдается тяжесть и ощущение сдавливания головы, сильная боль во лбу и висках, головокружение, шум в ушах, покраснение и жжение кожи лица, дрожь, чувство слабости и страха, жажда, учащение пульса, пульсация височных артерий, тошнота, рвота. В дальнейшем появляется оцепенелость, слабость и безучастность, нарастает сонливость и оцепенение. Температура тела может повышаться до 38-40 °C. В дальнейшем наступает потеря сознания, рвота, непроизвольное опорожнение мочевого пузыря и кишечника. Смерть наступает при остановке дыхания.

Оксид этилена (CH₂)₂O - бесцветная подвижная жидкость с эфирным запахом, хорошо растворяется в воде, спирте, эфире; химически чрезвычайно активна. При температуре выше 11 °C превращается в газ. Перевозится и хранится в жидком состоянии. Оксид этилена легко воспламеняется от искр и пламени, пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси, которые могут распространяться далеко от места выброса; емкости могут взрываться при нагревании. Оксид этилена - метаболический яд, обладает выраженным местным и общерезорбтивным действием. Оксид этилена - мутаген и алкилирующий агент, наркотик с сильно специфической ядовитостью; обладает раздражающим и

сенсibiliзирующим действием. При слабой и средней интоксикации окисью этилена наблюдается раздражение слизистой оболочки глаз, легкое сердцебиение, подергивание мышц, покраснение лица, головные боли, понижение слуха, нистагм, ацидоз, сильная рвота. В случае острой интоксикации появляется внезапная сильная пульсирующая головная боль, головокружение, неуверенность при ходьбе, затруднение речи, рвота, боли в ногах, вялость, скованность, спазм сосудов сетчатки. Вещество действует на кожу и слизистые оболочки. Поражение кожи наблюдается при действии в жидком, газообразном состоянии и в виде растворов. Окись этилена легко проникает через одежду, обувь, перчатки, поэтому часто развиваются поражения не только открытых, но и защищенных участков кожи.

Сероуглерод CS_2 - бесцветная жидкость с приятным запахом, частично разлагающаяся на свету; продукты разложения придают желтый цвет и неприятный запах. С эфиром, спиртом, хлороформом сероуглерод смешивается во всех соотношениях, растворяет серу, фосфор, йод, жиры и масла, хранится и перевозится в жидком состоянии. Сероуглерод легко воспламеняется от искр, пламени, нагревания; может взрываться от нагревания и при воспламенении: при нагревании самовоспламеняется; разлитая жидкость выделяет воспламеняющиеся пары. Пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси, которые могут, распространяться далеко от места аварии. Емкости с сероуглеродом могут взрываться при нагревании. Сероуглерод - нейротропный яд. Это вещество обладает выраженным общерезорбтивным действием, местные эффекты выражены слабо. Основной путь поступления в организм - ингаляционный, возможно проникновение через неповрежденную кожу. Высокие концентрации сероуглерода действуют наркотически. Хроническое воздействие малых концентраций приводит к заболеванию центральной, вегетативной, периферической нервных систем, эндокринных и внутренних органов, системы крови; способствует развитию сердечнососудистых заболеваний, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, сахарного диабета. При воздействии сероуглерода возникает головная боль, сосудодвигательные расстройства, раздражения, расстройство чувствительности, боль в горле, ощущение мурашек, легкое опьянение, неправильное дыхание. Степень выраженности симптомов находится в зависимости от тяжести отравления. При воздействии высоких концентраций потеря сознания возможна после нескольких вдохов. Если пострадавший не удаляется из зараженной атмосферы, наступает глубокий наркоз, исчезают все рефлексы, включая роговичный и зрачковый; смерть наступает от остановки дыхания. При выносе пораженного из зараженной атмосферы

бессознательное состояние сменяется психическим и двигательным возбуждением и дезориентацией.

Сернистый ангидрид SO_2 -бесцветный газ с резким запахом, растворим в воде, в сжиженном состоянии - бесцветная жидкость. Перевозится и хранится в сжиженном состоянии. Сернистый ангидрид не горюч, но пожароопасен, взрывоопасен. Это вещество обладает удушающим и общедовитым действием, раздражает дыхательные пути, вызывая спазм бронхов и увеличение сопротивления дыхательных путей. Его общее действие заключается в нарушении углеводного и белкового обмена, угнетении окислительных процессов в головном мозге, печени, селезенке, мышцах; раздражает кроветворные органы. При отравлении сернистым ангидридом возникает раздражение глаз и носоглотки. Чихание, кашель возникают при воздействии в течение нескольких минут. При более длительном воздействии наблюдается рвота, речь и глотание затруднены, смерть наступает от удушья, вследствие рефлекторного спазма голосовой щели, внезапной остановки кровообращения в легких или шока.

Фосген COCl_2 - бесцветная подвижная жидкость с удушливым неприятным запахом гниющих фруктов. Фосген плохо растворим в воде, хорошо - в бензоле, хлороформе, толуоле, ксилоле. При температуре выше 8°C превращается в газ, является высоколетучим веществом. Фосген негорюч, но пожароопасен, взрывоопасен Фосген - вещество с преимущественно удушающим действием, является ацилирующим агентом, который взаимодействует с нуклеофильными группами липидов и белков, входящих в состав мембран клеток стенок альвеол и легочных капилляров. Это приводит к нарушению проницаемости стенок альвеол и кровеносных сосудов, в результате чего жидкая часть крови (плазма) выходит в полость альвеол и развивается отек легких. Наступает кислородное голодание организма, усиливающееся в связи с замедленным кровообращением. При вдыхании паров фосгена ощущается запах прелого сена (яблоч). Период скрытого действия продолжается 4-8 ч, но в зависимости от полученной дозы может быть от 1 ч до суток. Чем короче период скрытого действия, тем менее благоприятный прогноз. Физическая нагрузка может приводить к уменьшению периода скрытого действия. У пораженных возникают кашель, затруднение дыхания, боль в груди при вдохе, сильные хрипы. Температура тела повышается. Отек легких достигает своего максимума к концу первых суток. Уменьшается количество кислорода в крови, развивается кислородная недостаточность. При явлениях сильного кислородного голодания наступает гибель пораженных (80 % в первые двое суток).

Хлор - зеленовато-желтый газ с характерным резким удушливым запахом, малорастворим в воде, растворим в четыреххлористом титане и

четырёххлористом кремнии. Является сильным окислителем. Хлор тяжелее воздуха, скапливается в подвалах, низинах местности, хранится и перевозится в сжиженном состоянии. Хлор взрывоопасен в смеси с водородом, негорюч, но пожароопасен. Емкости с хлором могут взрываться при нагревании, хлор поддерживает горение многих органических веществ. Хлор - вещество преимущественно удушающего действия, раздражает дыхательные пути, может вызвать отек легких. При действии хлора в крови нарушается содержание свободных аминокислот и снижается активность некоторых оксидаз. При незначительных концентрациях хлора наблюдается покраснение конъюнктивы, мягкого неба и глотки, бронхит, легкая одышка, охриплость, чувство давления в груди. При воздействии малых и средних концентраций хлора наблюдаются загрудинные боли, жжение и резь в глазах, слезотечение, мучительный сухой кашель, увеличивается одышка, пульс учащается, начинается отделение мокроты со слизью и отхаркивание пенистой желтой или красноватой жидкости. Иногда отравление, перенесенное на ногах, через несколько дней заканчивается смертью. При попадании в облако с высокими концентрациями может наступить молниеносная смерть из-за рефлекторного торможения дыхательного центра. Пострадавший задыхается, лицо синеет, он мечется, делает попытку бежать, но тотчас падает и теряет сознание.

Цианистый водород HCN - бесцветная легколетучая подвижная жидкость с запахом горького миндаля. Цианистый водород смешивается с водой, этиловым спиртом и эфиром во всех соотношениях, при температуре выше $25,7^\circ\text{C}$ превращается в газ. Перевозится и хранится в жидком состоянии. Смеси паров цианистого водорода с воздухом при содержании 6-40 % (объемных) могут взрываться, по силе взрыва превосходит тротил. Пары цианистого водорода горят при наличии постоянного источника огня, температура самовоспламенения 538°C . Цианистый водород - вещество преимущественно общеядовитого действия - ингибитор ферментов дыхательной цепи. Токсическое действие цианистого водорода обусловлено способностью цианина образовывать комплексы с трехвалентным железом, входящим в состав простетических групп цитохромов. Это вещество является специфическим ингибитором тканевого дыхания в клетках. Тканевое дыхание угнетается почти полностью (на 90 % и более) и в первую очередь в клетках нервной системы, что приводит к возбуждению и гибели нейронов. Молниеносная форма развивается быстро после воздействия высоких концентраций цианистого водорода. Пораженный падает, теряет сознание и спустя несколько минут погибает. При замедленной форме симптомы интоксикации развиваются медленней. Различают легкую, среднюю и тяжелую форму поражений. В случае

легкой степени пострадавший ощущает запах миндаля, металлический привкус во рту, затем возникает головокружение, головная боль и нарушение координации движения ("пьяная походка"). При средней степени поражения дополнительно наблюдается сильная слабость, пострадавший падает, сознание угнетено, дыхание затруднено, зрачки расширены. В случае тяжелой формы поражения возникают клонико-тонические судороги с потерей сознания, дыхание поверхностное, развиваются параличи. Может быть непроизвольное мочеиспускание и дефекация. В дальнейшем происходит остановка дыхания и сердца. Характерным симптомом отравления является ярко-розовая окраска кожи, слизистых оболочек губ и глаз, сохраняющаяся у погибшего

Оксиды азота и их смеси NO_2 , NO , N_2O , N_2O_4 - NO_2 - бесцветный газ со слабым приятным запахом и сладковатым вкусом. NO - бесцветная газ, в сжиженном состоянии синяя жидкость. N_2O - бурый газ с удушливым запахом. В сжиженном состоянии светло-желтая жидкость.

N_2O_4 - бесцветная жидкость со своеобразным сладковатым запахом. При температуре 10°C жидкость желтеет, при 15°C становится желто-красной. Выделяемые при испарении пары имеют красно-бурый цвет, изменение цвета связано с разложением тетраоксида и образованием двуокси азота. Оксиды азота и их смеси взрывоопасны, при контакте со многими горючими материалами могут вызывать из самовозгорание, с парами многих органических веществ образуют взрывоопасные смеси. Эти вещества преимущественного общедовитого действия - яды гемоглобина. Общий характер их действия зависит от состава образующих в воздухе оксидов. Токсическое действие протекает в основном по раздражающему или нитритному типу действия. При контакте с влажной поверхностью легких образуются HNO_3 и HNO_2 , поражающие альвеолярную ткань, что приводит к отеку легких и сложным рефлекторным расстройствам. В крови образуются нитраты и нитриты, ;--о ирье, действуют на артерии, вызывают расширение сосудов и снижение кровяного давления. Помимо этого нитриты превращают оксигемоглобин в метгемоглобин. Повреждение эритроцитов, как и отек легких, приводит к кислородной недостаточности. Наблюдаются раздражение дыхательных путей, сильный кашель, иногда головная боль, рвота. Пострадавший чувствует невозможность сделать глубокий вдох. Через 2-12 ч после воздействия паров развивается чувство страха и сильной слабости, нарастающий кашель сначала¹ с лимонно-желтой, а затем кровянистой мокротой, иногда озноб, повышение температуры, учащенное сердцебиение, сильная синюха. Часты значительные расстройства желудочно-кишечного тракта, тошнота, мучительные боли в диафрагме, рвота, понос, жажда. В 58 % случаев смерть наступает в течение суток после отравления. При внезапном вдыхании высоких

концентраций почти немедленно наблюдаются симптомы тяжелого удушья, судороги, остановка дыхания.

Диоксид (2, 3, 7, 8-тетрахлордибензодиоксин) - белое кристаллическое вещество, нерастворимо в воде, хорошо растворяется в органических растворителях, в химическом отношении весьма инертно. Диоксид при высокой температуре разлагается. Это вещество нарушает обмен веществ, оказывает токсическое действие при ингаляции, через кожу и при введении внутрь желудка, местным действием не обладает. Имеет период скрытого действия от 10 дней до нескольких недель. Увеличение дозы диоксида не приводит к существенному уменьшению периода скрытого действия. Отравление связано с нарушением обмена веществ, поражением печени, атрофией лимфоидной ткани, нарушением функций нервной системы. Нарушение обмена веществ внешне проявляется в потере массы, резком сокращении потребления воды. Выраженная дегидратация, как правило, предшествует смерти. Характерно наличие отеков, жидкость накапливается в подкожной клетчатке вначале вокруг глаз, затем распространяется на лицо, шею, туловище. Появляются тяжелейшие терминальные отеки, в основном подкожной локализации, однако часть жидкости обнаруживается в брюшной, грудной полостях, в полости перикарда. Характерным проявлением острой интоксикации является угреобразная сыпь на лице и шее, поддающаяся терапии. Кроме того, развиваются гиперкератоз кожи, стоп и ладоней, разрушение ногтей на руках и ногах, выпадение волос на лице, ресниц, развивается блефарит.

Для характеристики токсичности АХОВ используются такие показатели как пороговая концентрация, предел переносимости, смертельная концентрация и смертельная доза.

Пороговая концентрация - это минимальная концентрация АХОВ, вызывающая ощутимый физиологический эффект, при которой появляются первичные признаки поражения, но пораженные сохраняют работоспособность.

Предел переносимости - это минимальная концентрация АХОВ, которую человек может выдерживать определенное время без устойчивого поражения.

Для учета фактора времени введено понятие токсической дозы (токсодозы).

Для характеристики ингаляционного воздействия применяются средняя смертельная токсодоза f_L , вызывающая смертельный исход у 50 % пораженных и равная $D_{n50}=Ct$; а также средняя пороговая токсодоза D_{p50} вызывающая начальные симптомы у 50 % людей, подвергшихся воздействию и равная $D_{p50}=Ct_p$, где C и t - концентрация АХОВ в воздухе

и время воздействия соответственно. Ориентировочные значения пороговых токсодоз приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения пороговых токсодоз АХОВ

АХОВ	Д50 _{р.г}
Аммиак	454
Гидразин	14
Окись углерода	1620
Окись этилена	3600
Двуокись серы	194
Сероуглерод	2592
Фосген	13
Цианистый водород	36
Хлор	36

Примечание. В таблице приведены значения пороговых величин для взрослых, для детей - в 4-10 раз меньше.

Аналогичные кожно-резорбтивные токсодозы принято измерять количеством вещества, приходящегося на единицу поверхности или массы тела человека (мг/см² или мг/кг). Для защиты от отравлений СДЯВ и тяжелыми металлами наряду с другими СИЗ и СКЗ применяют особые вещества, которые называют антидотами или противоядиями. Антидоты способны обезвреживать СДЯВ, попавшие в организм человека. Механизм защитного действия антидотов различный. Некоторые антидоты, обладая высоким сродством с ядом, связывают его, образуя в организме безвредные соединения, другие - конкурируют с ядом за действие на ферменты, рецепторы, физиологические системы человека. Антидоты купируют или ослабляют синдромы отравления СДЯВ. Антидоты вводятся внутрь, путем ингаляции или инъекции (внутривенно или внутримышечно). Антидоты вводятся профилактически или сразу после отравления. Так, при отравлении окисью углерода внутримышечно вводится раствор ацизола на новокаине после отравления или за 20-40 мин. до входа в опасную зону. Максимальный эффект достигается через 1 ч после введения, защитное действие сохраняется около 3 часов.

Устойчивость организма к действию вредных веществ и физических факторов повышают также лекарственные препараты, которые называются протекторами. Наиболее эффективно протекторы действуют в том случае, если они введены в организм заблаговременно.

1.1.6. Защита от химических опасностей

Ошибочно считать, что человек в обозримом будущем полностью избавиться от химических опасностей. Химические опасности

обусловлены деятельностью человека. Следует стремиться к снижению вреда, приносимого химическими опасностями человеку и природе.

Под химической безопасностью будем понимать такое состояние среды обитания, при котором исключается с определенной вероятностью воздействие на человека, химических опасностей.

Организация химической безопасности предполагает выполнение следующих мероприятий:

- знание природы химических опасностей;
- изучение влияния опасностей на человека и окружающую среду;
- установление норм воздействия;
- разработка методов, средств и приборов контроля;
- применение СИЗ и СКЗ;
- экологизация технологий и производств;
- разработка и совершенствование системы управления отходами.

1.2. Действие вредных веществ на организм человека.

1.2.1. Отравление вредными веществами

Отравления протекают в острой, подострой и хронической формах.

Острые отравления чаще бывают групповыми и происходят в результате аварий, поломок оборудования и грубых нарушений требований безопасности труда; они характеризуются кратковременностью действия токсичных веществ не более, чем в течение одной смены; поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах — при высоких концентрациях в воздухе; ошибочном приеме внутрь; сильно загрязнении кожных покровов. Например, чрезвычайно быстрое отравление может наступить при воздействии паров бензина, сероводорода высоких концентраций и закончиться гибелью от паралича дыхательного центра, если пострадавшего сразу же не вынести на свежий воздух. Оксиды азота вследствие общетоксического действия в тяжелых случаях могут вызвать развитие комы, судороги, резкое падение артериального давления.

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном поступлении яда в организм в относительно небольших количествах. Отравления развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме (материальной кумуляции) или вызываемых ими нарушений в организме (функциональная кумуляция). Хронические отравления органов дыхания могут быть следствием перенесенной однократной или нескольких повторных острых интоксикаций. К ядам, вызывающим хронические отравления в результате только функциональной кумуляции, относятся хлорированные углеводороды, бензол, бензины и др.

При повторном воздействии одного и того же яда в субтоксической дозе может измениться течение отравления и кроме явления кумуляции развиться сенсibilизация и привыкание.

Сенсibilизация — состояние организма, при котором повторное воздействие вещества вызывает больший эффект, чем предыдущее. Эффект сенсibilизации связан с образованием в крови и других внутренних средах измененных и ставших чужеродными для организма белковых молекул, индуцирующих формирование антител. Повторное, даже более слабое токсическое воздействие с последующей реакцией яда с антителами вызывает извращенный ответ организма в виде явлений сенсibilизации. Более того, в случае предварительной сенсibilизации возможно развитие аллергических реакций, выраженность которых зависит не столько от дозы воздействующего вещества, сколько от состояния организма. Аллергизация значительно осложняет течение острых и хронических интоксикаций, нередко приводя к ограничению трудоспособности. К веществам, вызывающим сенсibilизацию, относятся бериллий и его соединения, карбонилы никеля, железа, кобальта, соединения ванадия и т.д.

При повторяющемся воздействии вредных веществ на организм можно наблюдать и ослабление эффектов вследствие привыкания. Для развития привыкания к хроническому воздействию яда необходимо, чтобы его концентрация (доза) была достаточной для формирования ответной приспособительной реакции и не чрезмерной, приводящей к быстрому и серьезному повреждению организма. При оценке развития привыкания к токсическому воздействию надо учитывать возможное развитие повышенной устойчивости к одним веществам после воздействия других. Это явление называют **толерантностью**.

Существуют адаптогены (витамины, женьшень, элеутерококк), способные уменьшить реакцию воздействия вредных веществ и увеличить устойчивость организма ко многим факторам окружающей среды, в том числе химическим. Однако следует иметь в виду, что привыкание является лишь фазой приспособительного процесса, и уловить грань между физиологической нормой и напряжением регуляторных механизмов не всегда удастся. Перенапряжение же систем регуляции приводит к срыву адаптации и развитию патологических процессов.

На производстве, как правило, в течение рабочего дня концентрации вредных веществ не бывают постоянными. Они либо нарастают к концу смены, снижаясь за обеденный перерыв, либо резко колеблются, оказывая на человека интермиттирующее (непостоянное) действие, которое во многих случаях оказывается более вредным, чем непрерывное, так как частые и резкие колебания раздражителя ведут к

срыву формирования адаптации. Неблагоприятное действие интермиттирующего режима отмечено при вдыхании оксида углерода СО.

Биологическое действие вредных веществ осуществляется через рецепторный аппарат клеток и внутриклеточных структур. Во многих случаях рецепторами токсичности являются ферменты (например, ацетилхолинэстераза), аминокислоты (цистеин, гистидин и др.), витамины, некоторые активные функциональные группы (сульфгидрильные, гидроксильные, карбоксильные, амино- и фосфорсодержащие), а также различные медиаторы и гормоны, регулирующие обмен веществ. Первичное специфическое действие вредных веществ на организм обусловлено образованием комплекса «вещество — рецептор». Токсическое действие яда проявляется тогда, когда минимальное число его молекул способно связывать и выводить из строя наиболее жизненно важные клетки-мишени. Например, токсины ботулинуса способны накапливаться в окончаниях периферических двигательных нервов и при содержании восьми молекул на каждую нервную клетку вызывать их паралич. Таким образом, 1 мг ботулинуса может уничтожить 1200 т живого вещества, а 200 г этого токсина способны погубить все население Земли.

1.2.2. Специфические действия вредных веществ

Классификация веществ по характеру воздействия на организм и общие требования безопасности регламентируются ГОСТ 12.0.003—74. Согласно ГОСТ вещества подразделяются на токсические, вызывающие отравление всего организма или поражающие отдельные системы (ЦНС, кроветворения), вызывающие патологические изменения печени, почек; раздражающие — вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов; сенсibiliзирующие, действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др.); мутагенные, приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы и др.); канцерогенные, вызывающие, как правило, злокачественные новообразования (циклические амины, ароматические углеводороды, хром, никель, асбест и др.); влияющие на репродуктивную (детородную) функцию (ртуть, свинец, стирол, радиоактивные изотопы и др.).

Три последних вида воздействия вредных веществ — мутагенное, канцерогенное, влияние на репродуктивную функцию, а также ускорение процесса старения сердечнососудистой системы относят к отдаленным последствиям влияния химических соединений на организм. Это специфическое действие, которое проявляется в отдаленные периоды, спустя годы и даже десятилетия. Отмечается появление различных

эффектов и в последующих поколениях. Эта классификация не учитывает агрегатного состояния вещества, тогда как для большой группы аэрозолей, не обладающих выраженной токсичностью, следует выделить фиброгенный эффект действия ее на организм. К ним относятся аэрозоли дезинтеграции угля, угольнопородные аэрозоли, аэрозоли кокса (каменноугольного, пескового, нефтяного, сланцевого), саж, алмазов, углеродных волокнистых материалов, аэрозоли (пыли) животного и растительного происхождения, силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты, аэрозоли дезинтеграции и конденсации металлов, кремнийсодержащие пыли.

Попадая в органы дыхания, вещества этой группы вызывают атрофию или гипертрофию слизистой верхних дыхательных путей, а задерживаясь в легких, приводят к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких. Профессиональные заболевания, связанные с воздействием аэрозолей, пневмокониозы и пневмосклерозы, хронический пылевой бронхит занимают второе место по частоте среди профессиональных заболеваний в России.

В зависимости от природы пыли пневмокониозы могут быть различных видов: например, силикоз — наиболее частая и характерная форма пневмокониоза, развивающаяся при действии свободного диоксида кремния; силикатоз может развиваться при попадании в легкие аэрозолей солей кремниевой кислоты; асбестоз — одна из агрессивных форм силикатоза, сопровождающаяся фиброзом легких и нарушениями функций нервной и сердечно-сосудистой систем.

Наличие фиброгенного эффекта не исключает общетоксического воздействия аэрозолей. К ядовитым пылям относят аэрозоли ДДТ, триоксид хрома, свинца, бериллия, мышьяка и др. При попадании их в органы дыхания помимо местных изменений в верхних дыхательных путях развивается острое или хроническое отравление.

Большинство случаев профессиональных заболеваний и отравлений связано с поступлением токсических газов, паров и аэрозолей в организм человека главным образом через органы дыхания. Этот путь наиболее опасен, поскольку вредные вещества поступают через разветвленную систему легочных альвеол ($100\text{—}120\text{ м}^2$) непосредственно в кровь и разносятся по всему организму. Развитие общетоксического действия аэрозолей в значительной степени связано с размером частиц пыли, так как пыль с частицами до 5 мкм (так называемая респираторная фракция) проникает в глубокие дыхательные пути, в альвеолы, частично или полностью растворяется в лимфе и, поступая в кровь, вызывает картину интоксикации. Мелкодисперсную пыль трудно улавливать; она медленно оседает, витая в воздухе рабочей зоны.

Попадание ядов в желудочно-кишечный тракт возможно при несоблюдении правил личной гигиены: приеме пищи на рабочем месте и курении без предварительного мытья рук. Ядовитые вещества могут всасываться уже из полости рта, поступая сразу в кровь. К таким веществам относятся все жирорастворимые соединения, фенолы, цианиды. Кислая среда желудка и слабощелочная среда кишечника могут способствовать усилению токсичности некоторых соединений (например, сульфат свинца переходит в более растворимый хлорид свинца, который легко всасывается). Попадание яда (ртути, меди, цезия, урана) в желудок может быть причиной поражения его слизистой.

Вредные вещества могут попадать в организм человека через неповрежденные кожные покровы, причем не только из жидкой среды при контакте с руками, но и в случае высоких концентраций токсических паров и газов в воздухе на рабочих местах. Растворяясь в секрете потовых желез и кожном жире, вещества могут легко поступать в кровь. К ним относятся легко растворимые в воде и жирах углеводороды, ароматические амины, бензол, анилин и др. Повреждение кожи безусловно способствует проникновению вредных веществ в организм.

Распределение ядовитых веществ в организме подчиняется определенным закономерностям. Первоначально происходит динамическое распределение вещества в соответствии с интенсивностью кровообращения. Затем основную роль начинает играть сорбционная способность тканей. Существуют три главных бассейна, связанных с распределением вредных веществ: внеклеточная жидкость (14 л для человека массой 70 кг), внутриклеточная жидкость (28 л) и жировая ткань. Поэтому распределение веществ зависит от таких физико-химических свойств, как водорастворимость, жирорастворимость и способность к диссоциации. Для ряда металлов (серебра, марганца, хрома, ванадия, кадмия и др.) характерно быстрое выведение из крови и накопление в печени и почках. Легко диссоциируемые соединения бария, бериллия, свинца образуют прочные соединения с кальцием и фосфором и накапливаются в костной ткани.

1.2.3. Комбинированное действие вредных веществ

На производстве и в окружающей среде редко встречается изолированное действие вредных веществ; обычно работающий на производстве подвергается сочетанному действию неблагоприятных факторов разной природы (физических, химических) или комбинированному влиянию факторов одной природы, чаще ряду химических веществ. Комбинированное действие — это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления. Различают несколько типов комбинированного

действия ядов в зависимости от эффектов токсичности: аддитивного, потенцированного, антагонистического и независимого действия.

Аддитивное действие — это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма, причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется. Для гигиенической оценки воздушной среды при условии аддитивного действия ядов используют уравнение (0.1) в виде:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, \dots, C_n — концентрации каждого вещества в воздухе, мг/м^3 ; $ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ — предельно допустимые концентрации этих веществ, мг/м^3 .

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводов (бензола и изопропилбензола).

При потенцированном действии (синергизме) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме выше, больше аддитивного и это учитывается при анализе гигиенической ситуации в конкретных производственных условиях. Однако количественной оценки это явление не получило. Потенцирование отмечается при совместном действии диоксида серы и хлора; алкоголь повышает опасность отравления анилином, ртутью и некоторыми другими промышленными ядами. Явление потенцирования возможно только в случае острого отравления.

Антагонистическое действие — эффект комбинированного действия менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, эффект — менее аддитивного. Примером может служить антидотное (обезвреживающее) взаимодействие между эзеринном и атропином.

При независимом действии комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда в отдельности. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например бензол и раздражающие газы, смесь продуктов сгорания и пыли.

Наряду с комбинированным влиянием ядов возможно их комплексное действие, когда яды поступают в организм одновременно, но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу и т.д.).

Пути обезвреживания ядов различны. Первый и главный из них — изменение химической структуры ядов. Так, органические соединения в

организме подвергаются чаще всего гидроксигированию, ацелированию, окислению, восстановлению, расщеплению, метилированию, что в конечном итоге приводит большей частью к возникновению менее ядовитых и менее активных в организме веществ.

Не менее важный путь обезвреживания — выведение яда через органы дыхания, пищеварения, почки, потовые и сальные железы, кожу. Тяжелые металлы, как правило, выделяются через желудочно-кишечный тракт, органические соединения алифатического и ароматического рядов — в неизменном виде через легкие и частично после физико-химических превращений через почки и желудочно-кишечный тракт. Определенную роль в относительном обезвреживании ядов играет депонирование (задержка в тех или иных органах). Депонирование является временным путем уменьшения содержания яда, циркулируемого в крови. Например, тяжелые металлы (свинец, кадмий) часто откладываются в депо: костях, печени, почках, некоторые вещества — в нервной ткани. Однако яды из депо могут вновь поступать в кровь, вызывая обострение хронического отравления.

1.3. Воздействие негативных факторов.

1.3.1. Оценка негативных факторов

При оценке воздействия негативных факторов на человека следует учитывать степень влияния их на здоровье и жизнь человека, уровень и характер изменений функционального состояния и возможностей организма, его потенциальных резервов, адаптивных способностей и возможности развития последних.

При оценке допустимости воздействия вредных факторов на организм человека исходят из биологического закона субъективной количественной оценки раздражителя Вебера—Фехнера. Он выражает связь между изменением интенсивности раздражителя и силой вызванного ощущения: реакция организма прямо пропорциональна отношению приращения раздражителя

$$dL = a \frac{dR}{R},$$

где dL — элементарное ощущение организма; a — коэффициент пропорциональности; dR — элементарное приращение раздражителя.

Интегрируя данное выражение и принимая $a=10I_{ge}$, получают уровень ощущения раздражителя (дБ).

$$L = 10Lg \frac{R}{R_0} (\partial B)$$

где R_0 — пороговое значение ощущений, т.е. минимальная энергия раздражителя, характеризующая начало ощущения.

На базе закона Вебера—Фехнера построено нормирование вредных факторов. Чтобы исключить необратимые биологические эффекты, воздействие факторов ограничивается предельно допустимыми уровнями или предельно допустимыми концентрациями.

Предельно допустимый уровень или предельно допустимая концентрация — это максимальное значение фактора, которое, воздействуя на человека (изолированно или в сочетании с другими факторами), не вызывает у него и у его потомства биологических изменений даже скрытых и временно компенсируемых, в том числе заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также психологических нарушений (снижения интеллектуальных и эмоциональных способностей, умственной работоспособности). ПДК и ПДУ устанавливаются для производственной и окружающей среды. При их принятии руководствуются следующими принципами:

1. приоритет медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов перед прочими подходами (технической достижимостью, экономическими требованиями);

2. пороговость действия неблагоприятных факторов (в том числе химических соединений с мутагенным или канцерогенным эффектом действия, ионизирующего излучения);

3. опережение разработки и внедрения профилактических мероприятий появления опасного и вредного фактора.

Ниже рассмотрено воздействие на организм человека и гигиеническое нормирование негативных факторов техносферы [3.1—3.3].

1.3.2. Ядовитые вещества

В настоящее время известно около 7 млн. химических веществ и соединений (далее вещество), из которых 60 тыс. находят применение в деятельности человека. На международном рынке ежегодно появляется 500...1000 новых химических соединений и смесей.

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека может вызывать травмы, заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в

процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Химические вещества (органические, неорганические, элементарноорганические) в зависимости от их практического использования классифицируются на:

1. промышленные яды, используемые в производстве: например, органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);

2. ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;

3. лекарственные средства;

4. бытовые химикаты, используемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота), средства санитарии, личной гигиены, косметики и т.д.;

5. биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута), у животных и насекомых (змей, пчел, скорпионов);

6. отравляющие вещества (ОВ): зарин, иприт, фосген и др.

Ядовитые свойства могут проявить все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении. Однако к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

К промышленным ядам относится большая группа химических веществ и соединений, которые в виде сырья, промежуточных или готовых продуктов встречаются в производстве.

В организм промышленные химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Помимо острых и хронических профессиональных интоксикаций промышленные яды могут быть причиной понижения устойчивости организма и повышенной общей заболеваемости.

Бытовые отравления чаще всего возникают при попадании яда в желудочно-кишечный тракт (ядохимикатов, бытовых химикатов, лекарственных веществ). Возможны острые отравления и заболевания при попадании яда непосредственно в кровь, например, при укусах змеями, насекомыми, при инъекциях лекарственных веществ.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсиметрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и малотоксичные. Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества, попавшего в организм вещества, его

физических свойств, длительности поступления, химизма взаимодействия с биологическими средами (кровью, ферментами). Кроме того, эффект зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выведения, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

Таблица 4

Токсикологическая классификация вредных веществ

Общее токсическое воздействие	Токсичные вещества
Нервно-паралитическое действие (бронхоспазм, удушье, судороги и параличи) Кожно-резорбтивное действие (местные воспалительные и некротические изменения в сочетании с общетоксическими резорбтивными явлениями)	Фосфорорганические инсектициды (хлорофос, карбофос, никотин, ОВ и др.) Дихлорэтан, гексахлоран, уксусная эссенция, мышьяк и его соединения, ртуть (сулема)
Общетоксическое действие (гипоксические судорога, кома, отек мозга, параличи) Удушающее действие (токсический отек легких)	Синильная кислота и ее производные, угарный газ, алкоголь и его суррогаты, ОВ Оксиды азота, ОВ
Слезоточивое и раздражающее действие (раздражение наружных слизистых оболочек)	Пары крепких кислот и щелочей, хлорпикрин, ОВ
Психотическое действие (нарушение психической активности, сознания)	Наркотики, атропин

Яды наряду с общей обладают избирательной токсичностью, т.е. они представляют наибольшую опасность для определенного органа или системы организма. По избирательной токсичности выделяют яды:

1. сердечные с преимущественным кардиотоксическим действием; к этой группе относят многие лекарственные препараты, растительные яды, соли металлов (бария, калия, кобальта, кадмия);

2. нервные, вызывающие нарушение преимущественно психической активности (угарный газ, фосфорорганические соединения, алкоголь и его суррогаты, наркотики, снотворные лекарственные препараты и др.);

3. печеночные, среди которых особо следует выделить хлорированные углеводороды, ядовитые грибы, фенолы и альдегиды;

4. почечные — соединения тяжелых металлов этиленгликоль, шавелевая кислота;

5. кровяные — анилин и его производные, нитриты, мышьяковистый водород;

6. легочные — оксиды азота, озон, фосген и др.

Показатели токсиметрии и критерии токсичности вредных веществ — это количественные показатели токсичности и опасности вредных веществ. Токсический эффект при действии различных доз и

концентраций ядов может проявиться функциональными и структурными (патоморфологическими) изменениями или гибелью организма. В первом случае токсичность принято выражать в виде действующих, пороговых и недействующих доз и концентраций, во втором — в виде смертельных концентраций.

1.3.3. Физико-химические свойства ядов

I. Профессиональные интоксикации от воздействия фосфора и его неорганических соединений

Белый (желтый) фосфор – бесцветная мягкая воскообразная масса, желтеющая на свету, легко окисляющаяся, самовоспламеняющаяся. Фосфор хорошо растворяется в сероуглероде, хлорамине, жирах. На воздухе быстро окисляется и при температуре 35-40 °С воспламеняется, поэтому его следует хранить под водой в темной посуде.

Красный фосфор не растворяется в жирах и других биологических средах, но может оказывать токсическое действие в виде пыли.

Фосфор сопровождается выделением в воздушную среду паров фосфора – P_4 (ПДК – 0,03 мг/м³), фосфориды водорода PH_3 (ПДК – 0,1 мг/м³) и фосфорного ангидрида P_2O_5 (ПДК – 1,0 мг/м³).

Пути поступления фосфора и его неорганических соединений являются в первую очередь органы дыхания, затем желудочно-кишечный тракт (при заглатывании пыли или случайном приеме фосфора внутрь) и кожные покровы (при ожогах возможно всасывание фосфора через обожженную кожу). Выделение из организма осуществляется через легкие (с выдыхаемым воздухом), желудочно-кишечный тракт, мочевыводящие пути и потовые железы. Депонируется преимущественно в печени и костях.

II. Профессиональные заболевания, обусловленные воздействием некоторых металлов и их соединений.

Вольфрам. Наибольшее значение в промышленных условиях имеют карбид вольфрама, вольфрамовый ангидрид, а также вольфраматы (соли вольфрамовой кислоты). ПДК для вольфрама и карбида вольфрама 6 мг/м³. Воздействие в условиях производства происходит при вдыхании вольфрамсодержащей пыли или ее паров. Применяется, главным образом, для изготовления высококачественных видов стали и твердых сплавов.

Молибден – тугоплавкий металл, который применяется в производстве легированных сталей, твердых сплавов. Соединения молибдена (молибденовый аммоний, сульфат молибдена и др.) используются как катализаторы в химической промышленности, в лакокрасочной и нефтеперерабатывающей промышленности. ПДК – для аэрозолей растворимых соединений – 2 мл/м³, для соединений в виде пыли – 4 мл/м³.

Молибден является биоэлементом, необходимым для нормальной жизнедеятельности растений, животных и человека. Соединения молибдена попадают в организм с растительной пищей из почвы. Избыточное поступление молибдена в организм обуславливает его токсическое действие. Являясь антагонистом меди, он вытесняет ее из биологически важных соединений, что приводит к нарушению в процессах тканевого дыхания, пуринового и углеводном обмене.

Титан получил широкое использование в порошковой металлургии, химической промышленности, производстве керамических изделий, лакокрасочной промышленности. ПДК для тетраоксида титана 1 мг/м^3 . Выделяют две основные формы воздействия титана: преимущественно раздражающее действие, обусловленное вдыханием паров растворимых соединений, в частности тетраоксида титана, и преимущественно фиброгенное действие свойственное пыли, содержащей нерастворимые соединения – металлический титан и его диоксид. При попадании тетраоксида на кожу развиваются химические ожоги.

Кадмий и его оксид используются для изготовления специальных сплавов, электропокрытий стали (кадмирование), в производстве электроламп, щелочных батарей, эмалей, красок, фотоэлементов. Пары кадмия при плавлении имеют оранжево-коричневый цвет. ПДК для оксида кадмия $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Поступление в организм в условиях производства происходит главным образом ингаляционным путем, возможно попадание через желудочно-кишечный тракт и кожу. Пары и пыль кадмия относятся к числу высокотоксичных веществ, оказывающих политропное действие. Токсическое действие большой дозы уменьшается при предварительном контакте с малой дозой кадмия, что способствует выработке в печени металлотниона, низкомолекулярного белка, выполняющего роль защитного фактора от токсических проявлений яда. Удаление кадмия из организма медленное.

Кобальт применяется главным образом в производстве специальных сплавов, используется в качестве защитного покрытия металлов, для приготовления красок и эмалей. Наибольшее промышленное значение имеют оксид кобальта и хлористые соединения.

ПДК для металлического кобальта и оксида кобальта $0,5 \text{ мг/м}^3$. Кобальт относится к числу биоэлементов, поступает в организм с пищей, входит в состав витамина B_{12} . В малых дозах он участвует в регуляции обмена веществ, стимулирует кроветворение. В промышленных условиях поступает в организм главным образом в виде пыли через дыхательные пути. Выделение из организма происходит через желудочно-кишечный тракт и почки. В зависимости от концентрации кобальта моча может

приобретать коричневый или чернильно-черный цвет. Кобальт может откладываться в костях, печени, селезенке, поджелудочной железе.

Никель применяется как легирующий компонент для производства качественных сортов стали, гальванического покрытия металлических изделий, в качестве катализатора химических реакций.

В производственных условиях возможен контакт с металлическим никелем, а также его соединениями: оксидом никеля, сульфатом никеля, карбонил никеля. ПДК для никеля и его оксида $0,5 \text{ мг/м}^3$, ПДК для карбонила никеля – $0,005 \text{ мг/м}^3$.

В условиях производства никель поступает в организм главным образом ингаляционным путем, может оказывать влияние при попадании на кожу и слизистые оболочки. Острая интоксикация возможна только при воздействии карбонила никеля.

Хром и его соединения являются легирующей добавкой сталей, используются в качестве минеральных пигментов, для хромирования металлов, дубления кож, травления металлов. В небольшом количестве хром содержится в составе цемента. Наиболее токсичны шестивалентные хромовые соединения (бихроматы, хромовый ангидрид), меньшую токсичность имеют трехвалентные соединения (оксид хрома, хромовые квасцы).

ПДК для растворимых соединений $0,01 \text{ мг/м}^3$, для нерастворимых $0,5-1 \text{ мг/м}^3$. токсическое действие хрома и его соединений определяется сочетанием раздражающего, аллергического и канцерогенного эффектов.

Цинк применяется для получения сплавов с другими металлами, например, с медью (латунь), в производстве гальванических элементов и аккумуляторов, для покрытия изделий из железа и стали. Наибольшее значение имеют такие соединения цинка, как оксид цинка, хлорид цинка и сульфат цинка. Оксид цинка применяется в качестве пигмента для белых красок (цинковые белила), в производстве стекла, керамики. Хлорид и сульфат цинка применяются для пропитывания древесины, при пайке, для получения минеральных красок.

ПДК для оксида кальция 6 мг/м^3 , для металлического цинка – 5 мг/м^3 . Цинк является биоэлементом и входит в состав некоторых элементов. Токсическое действие оказывают пары цинка и мелкодисперсная пыль оксида цинка.

Сурьма в чистом виде в промышленности почти не используется. Главное значение имеют различные соединения сурьмы: оксид сурьмы (III), который входит в состав красок и эмалей; оксид сурьмы (V), используемый в производстве стекла, керамики, в резиновой и фармацевтической промышленности, трихлорид сурьмы, используемый для воронения железа и стали, окрашивания других металлов (алюминий,

цинк), трех и пяти-сернистая сурьма – в спичечном производстве и пиротехнике.

Пыль элементарной сурьмы токсичнее, чем пыль ее соединений. Трехвалентные соединения токсичнее пятивалентных. ПДК пыли металлической сурьмы $0,5 \text{ мг/м}^3$, для пятивалентных соединений 2 мг/м^3 , для трехвалентных оксидов – 1 мг/м^3 . В производственных условиях поступление сурьмы и ее соединений в организм в основном происходит ингаляционным путем, реже через желудочно-кишечный тракт. Возможна задержка соединений сурьмы в печени, коже, волосах. Токсичность соединений сурьмы проявляется, прежде всего, контактным действием ядов.

III. Профессиональные интоксикации органическими растворителями

Растворители в основном являются органическими жидкостями, которые используются для растворения твердых веществ (красок, лаков, смол, пластических масс, резины, каучуков и др.) с целью перевода их в технические растворы. Растворители также применяются для экстракции и растворения жиров, воска, битума, масла, олифы, нитро- и ацетилцеллюлозы, для обезжиривания различных поверхностей, промывки различного вида деталей и аппаратуры. Органические растворители находят применение во всех отраслях современной промышленности.

Поступление, распределение и выделение растворителей из организма характеризуют прежде всего, их физико-химические свойства, в зависимости от которых органические растворители можно разделить на 3 группы:

1. К растворителям типа спирта относятся следующие органические растворители: одноатомные спирты (этиловый, метиловый и др.), этиленгликоль, ацетон, нитропарафины (нитрометан, нитроэтан и др.), амиды кислот (диметилформалид) и др. Эти соединения характеризуются высокой растворимостью в воде (смешиваются во всех отношениях), малыми значениями коэффициента распределения масло/вода (менее 1), высокими значениями коэффициента растворимости паров в воде (порядка тысячи или сажи). Поэтому сорбционная емкость организма для этих веществ велика, насыщение происходит медленно.

2. Растворители типа эфира представлены этиловым эфиром, алкилацетатами (метилацетат, этиацетат и др.), кетонами (циклический кетон циклогексанон), альдегидами (фурфурол). Для веществ данной группы характерна растворимость в воде (но не во всех отношениях), более высокие значения коэффициента распределения масло/вода (более 1), менее высокий коэффициент растворимости в воде (порядка десятков, реже единиц или сотен). Сорбционная емкость организма для них меньше,

чем а предыдущей группе, поэтому насыщение ими организма менее длительно.

3. Следующая группа органических растворителей – типа бензола или хлороформа. К ней относятся ароматические углеводороды (бензол и его производные, сольвент-нафта), хлорзамещенные углеводороды (хлорид метила, хлорид метилена, хлороформ, тетрахлорид углерода, дихлорэтан, трихлорэтилен и др.), бензин-растворители и экстрагенты (Уайт-спирит, бензин БР-1, БР-2, Б-70), гидроароматические углеводороды (тетралин, декалин). Вещества этой группы плохо растворяются в воде, значения коэффициента распределения масло/вода для них велики, а коэффициент растворимости паров в воде очень низкий (порядка десятков или долей единиц). Поэтому сорбционная емкость организма для них мала, а это значит, что эти вещества будут сравнительно быстро насыщать организм, накапливаясь в большом количестве в жировой ткани.

В производственных условиях пары органических растворителей проникают в организм ингаляционным путем, поэтому важна степень летучести растворителя. Как, известно, высокая летучесть используемого вещества создает опасность быстрого загрязнения им воздуха рабочей зоны.

К легколетучим растворителям относятся этиловый эфир, эфиры уксусной кислоты, ацетон, бензин, толуол, дихлорэтан, хлороформ, тетрахлорид углерода, трихлорэтан, метиловый спирт и др.; к среднелетучим – бутиловый спирт, ксилол, хлорбензол, сольвент-нафта и др.; малолетучими являются тетралин, декалин, нитропарафины, этиленгликоль.

Другим путем проникновения органических жидкостей в организм, может оказаться неповрежденная кожа при загрязнении открытых частей тела, в особенности растворителями типа бензола или хлороформа, веществами, обладающими высокой растворимостью в жирах. Освобождение организма от поступивших растворителей происходит разными путями. Одна часть проникших летучих растворителей выделяется в неизменном виде через легкие, другая – подвергается превращениям путем различных продуктов, покидающих организм с мочой. Также выделяются через почки хорошо растворимые в воде органические растворители.

IV. Действие химических веществ на кожу

Профессиональные заболевания кожи в большинстве случаев развиваются вследствие контакта кожи с оди, двумя или комплексом вредных производственных факторов.

Все химические вещества по их действию на кожу делятся на три основные группы: 1) оказывающие преимущественно раздражающее

действие; 2) обладающие фотостимулирующими и фотосенсибилизирующими свойствами; 3) вещества-сенсибилизаторы.

В первую группу входят облигатные раздражители, вызывающие ожоги и изъязвления кожи (концентрированные неорганические кислоты и щелочи, некоторые соли тяжелых металлов, вещества кожно-нарывного действия); факультативные первичные раздражители, вызывающие: а) контактные дерматиты (слабо концентрированные растворы кислот, щелочей, органические кислоты, большинство органических растворителей и др.); б) поражение фолликулярного аппарата (смазочные масла, деготь, пек, хлорированные нафталины и др.); в) токсическую меланодермию (нафтеновые углеводороды); г) ограниченные гиперкератозы и эпителиому (бензапрен, бенз-а-пирен, фенантрен и др.).

Во вторую группу включены химические вещества, вызывающие фотодерматиты (пек, гудрон, асфальт, толь, лекарственные препараты фенотиазинового ряда, сульфаниламиды и др.).

Третью группу составляют вещества, вызывающие развитие аллергического дерматита, токсикодермии и экземы при контактном и неконтактном (пероральном, ингаляционном) введении аллергена.

V. Действие химических веществ на органы дыхания

В условиях промышленных производств ингаляционное поступление в организм работающих вредных веществ является наиболее частым. Однако путь вредных веществ всегда определяет место приложения их токсического действия: большая всасывающая поверхность легких способствует быстрому попаданию токсичных веществ в кровеносное русло, органы и ткани, что обуславливает общетоксическое резорбтивное действие ядов. Среди многообразия промышленных ядов значительное место занимают химические вещества раздражающего действия, токсический эффект которых проявляется путем прямого попадания в дыхательные пути, вызывая различные формы их поражения. Раздражающий эффект этих веществ может проявляться не только при воздействии на органы дыхания, но и при контакте с кожей, а также при попадании в глаза. Известны сочетанные формы интоксикаций, при которых одновременно наблюдается поражение органов дыхания, глаз и кожных покровов.

Таблица 5

Токсичные вещества раздражающего действия

Группа веществ	Основные соединения
1	2
Хлор и его соединения	Хлор, хлористый водород, хлористоводородная (соляная) кислота, хлорпикрин, фосген, хлороксид фосфора, трихлорид фосфора

1	2
Соединения серы	Сернистый газ, сероводород, диметилсульфат, сернистая кислота
Соединения азота	Оксиды азота, азотная кислота, аммиак, гидразин
Соединения фтора	Фторид водорода, плавиковая кислота, соли плавиковой кислоты (фториды), перфторидобутилен
Соединения хрома	Хромовый ангидрид, оксид хрома, бихромат калия и натрия, хромовые квасцы
Карбонильные соединения металлов	Карбонил никеля, пентакарбонил железа
Растворимые соединения бериллия	Фторид бериллия, фтороксид бериллия, сульфат бериллия

VI. Интоксикация продуктами нефти

Нефть представляет собой смесь органических соединений, состоящих до 88-90 % из углеводородов, метановых, нафтеновых и ароматических веществ. В ее состав входят также сернистые, азотистые, серные, органические соединения и различные примеси. Нефть, ее пары, газы, а также продукты ее переработки (бензины, растворители, смазочные масла парафины, битумы, нефтяной кокс и др.) являются высокотоксичными.

Предельно допустимая концентрация суммы углеводородов в воздухе рабочей зоны равна 300 мг/м^3 , чем выше содержание в нефти серосодержащих соединений, тем токсичнее ее действие.

1.4. Производственная пыль и борьба с ней.

1.4.1. Причины образования пыли и ее основные свойства

При многих технологических процессах на строительных площадках и в производстве строительных изделий и конструкций в воздушную среду выделяются пылегазовые выбросы. (Металлургия, химия, нефтехимия, машиностроение и т.д.). попадая в атмосферный воздух пыль и вредные газы изменяют его состав, уменьшая количество кислорода, необходимого для жизнедеятельности всего живого. Запыленный воздух снижает устойчивость организма к инфекционным заболеваниям, уменьшает работоспособность.

Пыль – это мельчайшие твердые частицы, способные некоторое время находиться в воздухе или промышленных газах во взвешенном состоянии.

Основные свойства пыли:

- химический состав;
- плотность;

- угол естественного откоса;
- смачиваемость;
- удельное электрическое сопротивление;
- форма и структура частиц;
- дисперсность;
- токсичность;
- воспламеняемость и взрываемость;
- способность коагулировать;

а) **Химический состав пыли** – он всегда характерен для данного производства или технологического процесса.

Например:

- пыль образуется во время плавки металлов, состоит из оксидов этих металлов, флюсов и добавок;
- пыль, выделяющаяся в процессе холодной обработки металлов абразивным инструментом – содержит мелкие частицы металлов и абразивного инструмента;
- в производстве строительных материалов пыль состоит из их минеральных составляющих;
- текстильная пыль образуется из мельчайших частиц, перерабатываемых волокон и т.д.

б) **Воспламеняемость и взрывоопасность.**

Чем меньше размеры и пористее структура частиц, тем больше их удельная поверхность и выше физическая и химическая активность пыли. Высокая химическая активность некоторых видов пыли является причиной ее взаимодействия с кислородом воздуха. Окисленные частицы пыли сопровождаются повышением температуры. Поэтому в местах скопления пыли возможны ее воспламенение и взрыв.

По степени пожаро- и взрывоопасности пыли делят на две группы и четыре класса.

К группе А относят взрывоопасные пыли с нижним концентрационным пределом взрываемости до 65 г/м^3 . Из них пыль с нижним пределом взрываемости до 15 г/м^3 относится к I классу, а остальные ко II классу.

В группу Б входят пыли, имеющие нижний концентрационный предел выше 65 г/м^3 . Из них пыли температура воспламенения которых до $250 \text{ }^\circ\text{C}$, относятся к III классу, а пыли, воспламеняющиеся при $t > 250 \text{ }^\circ\text{C}$ – к IV классу.

в) **Смачиваемость пыли** – характеризует ее способность смачиваться водой. Обычно ее выражают в процентах. Чем меньше размер частиц пыли, тем меньше их способность смачиваться.

Чем крупнее частицы и чем округлее их форма, тем слабее силы, удерживающие газовую оболочку вокруг поверхности частиц, и, следовательно, тем больше их способность смачиваться.

Пыль по смачиваемости разделяют на три группы:

- гидрофобная (плохо смачиваемая, менее 30 %);
- умеренно смачиваемая (30-80 %);
- гидрофильная (хорошо смачиваемая, 80-100 %).

г) Плотность пыли.

Различают истинную плотность насыпной массы. Истинная плотность пыли обусловлена химическим составом материала, из которого она образована, и измеряется отношением массы пыли к занимаемому ею объему (кажущаяся плотность меньше истинной → внутри частиц поры и пустоты).

В процессе очистки уловленная пыль собирается в определенную емкость и образует насыпную массу. Плотность насыпной массы в отличие от истинной плотности учитывает наличие воздушных зазоров между отдельными частицами и от способа заполнения (уплотнения) пыли в заданном объеме. Величиной насыпной плотности пользуются для определения объема, который занимает пыль в бункерах.

д) Удельное электрическое сопротивление (УЭС) – представляет собой омическое сопротивление образца пыли в форме куба с гранями 1 м прохождению электрического тока ($\text{Ом} \cdot \text{м}$).

Величина УЭС слоя пыли на электродах электрофильтра является одним из важных факторов, влияющих на эффективность работы сухих электрофильтров.

Существует критическое значение УЭС пыли, при котором КПД аппарата резко снижается.

Все пыли по УЭС разделяют на три группы:

1-я группа (УЭС меньше $10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) легко разряжаются и, приобретая одноименный с осадительными электродами заряд, отрываясь от поверхности, и попадает в газовый поток, способствует увеличению вторичного уноса.

2-я группа (УЭС $10^4 \div 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) удовлетворительно улавливается в электрофильтрах.

3-я группа (УЭС $>10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) при этом возникают наибольшие трудности, нарушающие протекание процесса электрической фильтрации. Возникает обратная корона.

е) Дисперсность пыли.

Размер частиц пыли является одной из основных характеристик, определяющих выбор типа аппарата или системы аппаратов для очистки газа, а также ее способность проникать в организм человека.

Одной из классификаций пыли по размерам служит ее разделение на крупную пыль (размер >10 мкм) и мелкую (размер <10 мкм).

1.4.2. Оценка вредности пыли

Пыль представляет собой гигиеническую вредность, т.к. она отрицательно влияет на организм человека. Под воздействием пыли могут возникнуть такие заболевания:

- пневмокониозы;
- экземы;
- дерматиты;
- конъюнктивиты и др.

Чем меньше пыль, тем она опаснее для человека. Наиболее опасными являются частицы размером $0,2-7$ мкм, которые, попадая в легкие при дыхании, задерживаются в них, и, накапливаясь, могут стать причиной заболевания.

Пути проникновения пыли:

- органы дыхания;
- желудочно-кишечный тракт;
- кожу.

Пыль токсичных веществ (свинец, мышьяк и др.) может привести к острому или хроническому отравлению организма. Помимо этого пыль ухудшает видимость, снижает светоотдачу осветительных устройств, повышает абразивный износ трущихся деталей машины.

Гигиеническая вредность пыли зависит от ее химического состава. Наличие в пыли токсических веществ повышает ее опасность. Особую опасность представляет диоксид кремния, который вызывает такие заболевания, как силикоз.

В зависимости от химического состава пыль подразделяется:

- на органическую (древесная, хлопковая, кожаная и т.д.);
- неорганическую (кварцевая, цементная, карборундовая и т.д.);
- смешанную.

Концентрация пыли в реальных производственных условиях может составлять от нескольких мг/м^3 до сотен мг/м^3 . СН установлены ПДК в воздухе рабочей зоны. Установлены также ПДК пыли для воздушной среды населенной местности. Величины этих концентраций значительно меньше, чем в воздухе рабочей зоны и для нейтральной атмосферной пыли составляет $0,15 \text{ мг/м}^3$ (среднесуточная ПДК).

1.4.3. Методы измерения концентрации пыли, и средства защиты от пыли

Методы измерения концентрации пыли делятся на две группы:

1. основанные на предварительном осаждении частиц пыли с исследованием осадка;

2. без предварительного осаждения.

Основным преимуществом первой группы является возможность измерения массовой концентрации пыли.

К недостаткам следует отнести:

- циклический характер измерения;
- большую трудоемкость;
- низкую чувствительность;
- длительный пробоотбор при измерении малых концентраций.

Преимущества методов второй группы:

- возможность непосредственных измерений в самом пылегазовом потоке без использования пробоотборного устройства;

- непрерывность измерений;
- высокая чувствительность;
- практическая безынерционность;
- возможность полной автоматизации процесса измерений;
- во время измерений поток не подвергается аэродинамическому искажению.

Существенным недостатком методов второй группы является влияние на полученный результат измерения дисперсного состава и др. свойств пыли.

Для промышленного пылевого контроля характерны широкий диапазон измеряемых концентраций (от нескольких миллиграммов до десятков граммов на кубический метр); высокие скорости (до 40 м/с) и температуры (до 500 °С) контролируемых пылегазовых потоков. Кроме того, сама концентрация пыли. Являясь дискретной величиной, непрерывно изменяется в довольно широких пределах в зависимости от режима работы пылеуловителя.

Применительно к непрерывному промышленному контролю наиболее приемлемыми являются методы второй группы. Они дают непрерывную информацию о мгновенных значениях концентрации пыли в потоке и закономерностях ее изменения, что позволяет, во-первых, организовать автоматическое регулирование работы пылеуловителя; во-вторых, установить сигнализацию об увеличении концентрации пыли выше допустимой; в-третьих, останавливать производство в аварийных ситуациях, когда очистные установки вышли из строя. Однако методы второй группы не всегда можно использовать на практике из-за высокой чувствительности к нестационарным изменениям, связанным с внешними и внутренними факторами (температурой и влажностью среды; параметрами источника питания прибора) и др.

1.4.4. Методы измерения концентрации пыли, основанные на предварительном осаждении частиц

Весовой метод. К достоинствам этого метода следует отнести прежде всего то, что он измеряет массовую концентрацию пыли, и на его показания не влияют изменения химического и дисперсного состава пыли, форма частиц, их оптических, электрических и других свойств. Метод позволяет измерять большие концентрации пыли. Техника измерения сравнительно проста, но сам процесс измерения довольно длителен и трудоемок. С точки зрения непрерывного промышленного пылевого контроля весовой метод не удовлетворяет основному требованию – непрерывности измерения.

Несмотря на указанные недостатки, весовой метод нашел самое широкое применение при осуществлении пылевого контроля выбросов промышленных предприятий; в настоящее время он является общепринятым методом измерения концентрации пыли. Все существующие и разрабатываемые пылемеры, основанные на других методах измерения, градуируют, используя весовой метод в качестве контрольного. Однако это не всегда метрологически правильно, поскольку разрабатываемые методы, как правило, превосходят по точности весовой метод.

Кроме весового метода, разработаны и другие методы пылевого контроля, основанные на исследовании осажденного слоя пыли.

Денситометрический (оптический) метод основан на предварительном осаждении частиц пыли на фильтре и определении оптической плотности пылевого осадка. Он включает все операции счетного метода, исключая взвешивание пробы, которое заменено фотометрированием. Оптическую плотность осадка определяют путем измерения поглощения или рассеяния им света. Коэффициент корреляции, полученный в результате сравнения счетного и денситометрического методов, равен 0,3. Недостаток метода – зависимость результатов измерений от оптических свойств пыли.

Метод, основанный на измерении перепада давления на фильтре. Он включает прокачивание порции пылегазового потока через фильтр и измерение разности давлений на входе и выходе фильтра. Результаты измерения пропорциональны массовой концентрации пыли. Достоинством метода является сравнительная простота его реализации. Однако он требует строгой стабилизации основных параметров пылегазового потока (скорости, температуры и др.).

1.4.5. Методы измерения концентрации пыли без предварительного ее осаждения

Существует несколько типов автоматических пылемеров с различными принципами действия.

Электрические методы. К группе пылемеров, разработанных на базе этого метода, относится контактно-электрический. Он основан на способности пылевых частиц электризоваться при контактировании с преградой, выполненной из контактно-активного материала, и отдавать приобретенный поверхностный заряд токопроводящим элементам преграды. Основными элементами контактно-электрического измерительного преобразователя являются электризатор, в котором происходит зарядка частиц, и токосъемный электрод. Зависимость массовой концентрации частиц от силы зарядного тока в цепи токосъемного электрода имеет линейный характер при концентрации пыли до 2 г/м^3 , когда большая часть частиц пыли контактирует с внутренней поверхностью электризатора и токосъемного электрода и суммарная величина регистрируемого заряда пропорциональна количеству частиц.

На электризацию частиц существенное влияние оказывают дисперсность, влажность, температура и другие свойства пылегазового потока. Установлено, что для получения максимальной чувствительности скорость частиц в электризаторе должна составлять 105-115 м/с.

Практическое применение метода ограничивается его недостатком – большим влиянием влажности на результаты измерения, при увеличении которой происходит залипание проходного отверстия электризатора.

Акустический метод основан на измерении параметров акустического поля при наличии частиц пыли в рабочем зазоре между источником и приемником звука. Величина потерь звуковой энергии, обусловленных наличием взвешенных твердых частиц, пропорциональна объемной концентрации пыли. К недостаткам метода можно отнести сложность аппаратного оформления метода, вследствие чего он не нашел широкого промышленного применения.

Оптические методы занимают ведущее место среди других для непрерывного контроля пылевых выбросов в промышленности. Он является наиболее простым и надежным, поэтому на базе оптических методов разработаны промышленные пылемеры, используемые во многих странах мира для контроля выбросов цементных заводов, тепловых электростанций и др. В основу оптических пылемеров положены явления поглощения света движущимся пылегазовым потоком и рассеяния света движущимися частицами пыли. Точность и достоверность результатов пылевого контроля при использовании оптических методов определяются главным образом стабильностью свойств частиц пыли. Для практических

целей имеются ограничения по составу пыли; изменение дисперсного состава дает сильную погрешность.

На основе явления поглощения созданы оптические абсорбционные пылемеры, на основе явления рассеивания – оптические пылемеры светорассеяния.

1.4.6. Средства защиты от пыли

Для предупреждения загрязнения пылью воздушной среды в производственных помещениях и защиты работающих от ее вредного воздействия необходимо проведение следующего комплекса мероприятий:

1. Максимальная механизация и автоматизация производственных процессов.
2. Применение герметичного оборудования, герметичных устройств для транспорта пылящих материалов.
3. Использование увлажненных сыпучих материалов.
4. Применение эффективных аспирационных установок.
5. Тщательная и систематическая пылеуборка помещений с помощью вакуумных установок.
6. Очистка от пыли вентиляционного воздуха при его подаче в помещения и выбросе в атмосферу.
7. применение в качестве ИСЗ от пыли респираторов, очков и противопыльной спецодежды.

1.4.7. Методы очистки воздуха от пыли

Для очистки воздуха от пыли применяют пылеуловители и фильтры.

К фильтрам относятся устройства, в которых отделение пылевых частиц от воздуха производится путем фильтрации через пористые материалы. Аппараты, основанные на иных принципах пылеотделения, принято называть пылеуловителями.

В зависимости от природы сил, действующих на взвешенные в газе пылевые частицы для их отделения от газового потока, используют следующие типы пылеулавливающих аппаратов:

- сухие механические пылеуловители (взвешенные частицы отделяются от газа при
 - помощи внешней механической силы);
 - мокрые пылеуловители (взвешенные частицы отделяются от газа путем промывки его жидкостью, захватывающей эти частицы);
 - электрические пылеуловители (частицы пыли отделяются от газового потока под действием электрических сил);

- фильтры (пористые перегородки или слои материала, задерживающие пылевые частицы при пропускании через них запыленного воздуха);

- комбинированные пылеуловители (используются одновременно различные принципы очистки).

По функциональному назначению пылеулавливающее оборудование подразделяют на два вида:

1) для очистки проточного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования;

2) для очистки воздуха и газов, выбрасываемых в атмосферу системами промышленной вентиляции.

Наиболее простыми по устройству и эксплуатации аппаратами являются пылеосадительные камеры, в которых отделение частиц пыли от воздуха происходит под действием силы тяжести при прохождении воздуха через камеры. Применяются для грубой очистки, их эффективность пылеулавливания составляет 50-60 %.

$$V_{\text{движения воздуха}} 0,2 \div 0,5 \text{ м/с.}$$

Центробежные пылеотделители – циклоны (80-90 %) при сравнительно простой конструкции. Циклон состоит из цилиндрического корпуса (диаметр не более 1 м), к которому подведен входной патрубок, нижней конической части и выхлопного патрубка, размещаемого внутри корпуса соосно с ним.

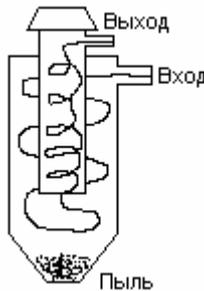


Рис. 1 Схема циклона

Входя в циклон со $V=16-20$ м/с, запыленный воздух приобретает вращательное движение и опускается вниз. При этом частицы пыли под действием сил инерции отбрасываются к стенкам аппарата и скользя по ним вниз попадает в бункер. Очищенный поток воздуха поворачивает вверх и через выхлопную трубу выходит из циклона.

Рукавные фильтры. Для улавливания сухой, неслипающейся пыли.

Основным рабочим элементом являются матерчатые рукава, подвешенные к встряхивающему устройству и размещаемые в герметичном металлическом корпусе. Нижние открытые концы рукавов соединены с бункером. Воздух, проходя через ткань рукавов, оставляет на из поверхности пыль и удаляется из корпуса фильтра вентилятором. Эффективность пылезадержания рукавных фильтров составляет 90-99 %. Рукава могут быть из стеклоткани, или пористых керамических материалов. Очистка фильтрующих элементов – сжатым воздухом.

Электрические фильтры. В этих аппаратах отделение пылевых частиц от воздуха производится под действием статического электрического поля высокой напряженности. В металлическом корпусе, стенки, которых заземлены и являются осадительными электродами, размещены коронирующие электроды, соединенные с источником постоянного тока: $U=30\dots 100$ кВ.

Вокруг отрицательно заряженных электродов образуется электрическое поле. Проходящий через электрофильтр запыленный газ ионизируется, вследствие чего приобретают отрицательные заряды и пылевые частицы. Последние начинают перемещаться к стенкам фильтра, и, оседая на них, образуют плотный слой. Очистка осадительных электродов производится путем их остукивания или вибрации, а иногда путем смыва водой. Эффективность пылеулавливания электрофильтров высокая, она достигает 99,9 %

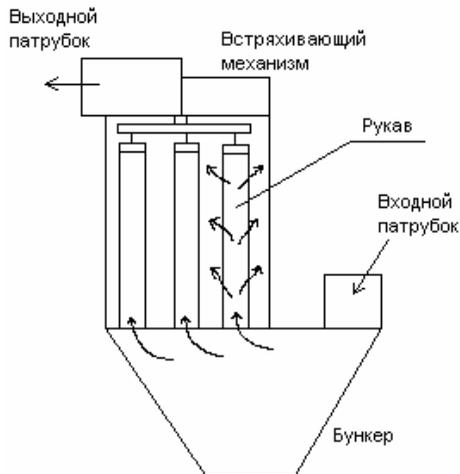


Рис. 2 Схема рукавного фильтра

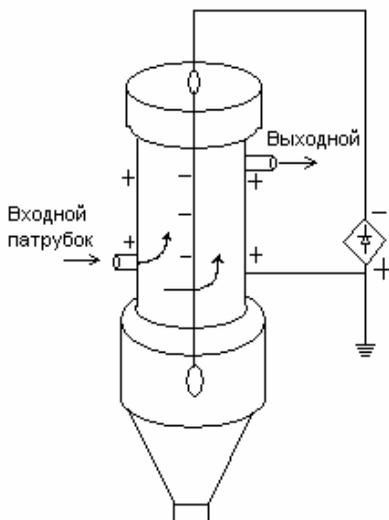


Рис. 3 Схема электрофилтра

1.5. Гигиеническое нормирование вредных веществ

Для ограничения неблагоприятного воздействия вредных веществ применяют гигиеническое нормирование их содержания в различных средах. В связи с тем, что требование полного отсутствия промышленных ядов в зоне дыхания работающих часто невыполнимо, особую значимость приобретает гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005–88). Такая регламентация в настоящее время проводится в три этапа: 1) обоснование ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ); 2) обоснование ПДК; 3) корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и состояния их здоровья. Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны, атмосфере населенных мест, в воде, почве.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия устанавливают временно, на период, предшествующих проектированию производства. Значение ОБУВ определяется путем расчета по физико-химическим свойствам или путем интерполяции в гомологических рядах (близких по строению) соединений или по показателям острой токсичности. ОБУВ должны пересматриваться через два года после их утверждения.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны – это концентрации, которые при ежедневной (кроме

выходных дней) работе в продолжение 8 ч или при другой длительности, но не превышающей 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего или последующего поколений.

Исходной величиной для установления ПДК является порог хронического действия Lim_{ch} , в который вводится коэффициент запаса K_3 : $ПДК = Lim_{ch} / K_3$.

ПДК устанавливаются на уровне в 2-3 раза более низком, чем Lim_{ch} . При обосновании коэффициента запаса учитывают КВИО, выраженные кумулятивные свойства, возможность кожно-резорбтивного действия, чем они значительнее, тем больше избираемый коэффициент запаса. При выявлении специфического действия – мутагенного, канцерогенного, сенсибилизирующего – принимаются наибольшие значения коэффициента запаса (10 и более).

До недавнего времени ПДК химических веществ оценивали как максимально разовые ПДК_{мр}. Превышение их даже в течении короткого времени запрещалось. В последнее время для веществ, обладающих кумулятивными свойствами (меди, ртути, свинца и др.), для гигиенического контроля введена вторая величина – среднесменная концентрация ПДК_{сс}. Это средняя концентрация, полученная путем непрерывного или прерывистого отбора проб воздуха при суммарном времени не менее 75 % продолжительности рабочей смены, или средневзвешенная концентрация в течение смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать установленных ПДК.

Таблица 6

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-85 (извлечение)

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
1	2	3	4	5
Азота диоксид	2	п	3	О
Акрилонитрил+	0,5	п	2	А
Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2	а	3	Ф
Аминопласты (пресс-порошки)	6	а	3	Ф, А

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5
Ангидрид серный + (триоксид серы)				
Ангидрид сернистый + (диоксид серы)	1 10	а п	2 3	К
Бензол +	15/5	п	2	К
Бенз(а)пирен	0,00015	а	1	
Водород фтористый (в пересчете на F)	0,5/0,1	п	1	О
Медь	1/0,5	а	2	О, К, А
Никеля карбонил	0,0005	п	1	
Ртуть металлическая	0,01/0,005	п	1	
Свинец и его неорганические соединения (по Pb)	0,01/0,005	а	1	О
Углерода оксид*	20	п	4	
Этилмеркурхлорид (гранозан), по Hg	0,005	п+а	1	А

*При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода СО, не более 1 ч ПДК СО может быть превышена до 50 мг/м³, при длительности работы не более 30 мин – до 100 мг/м³, не более 15 мин – 200 мг/м³. Повторные работы при условии повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут производиться с перерывом не менее 2 ч.

ПРИМЕЧАНИЕ. Значения ПДК приведены по состоянию на 01. 01. 88. Если в графе «ПДК» приведено две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК. 2. Условные обозначения: п – пары и (или) газы; а – аэрозоль; п+а – смесь паров и аэрозоля; О – вещество с остронаправленным механизмом действия, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; А – вещества, способные вызывать аллергические заболевания; К – канцерогены; Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. 3. + - требуются специальная защита кожи и глаз.

Для веществ, обладающих кожно-резорбтивным действием, обосновывается предельно допустимый уровень загрязнения кожи (мг/м²) в соответствии с ГН 2.25.563-96 ПДУ загрязнения кожных покровов.

Содержание веществ в атмосферном воздухе населенных мест также регламентируется ПДК, при этом нормируется среднесуточная концентрация вещества. Кроме того, для атмосферы населенных мест устанавливают максимальную разовую величину.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных мест – максимальные концентрации, отнесенные к определенному периоду осреднения (30 мин, 24 ч, 1 мес, 1 год) и не оказывающие при регламентированной вероятности их появления ни

прямого, ни косвенного вредного воздействия на организм человека, включая отдаленные последствия для настоящего и последующих поколений, не снижающие работоспособности человека и не ухудшающие его самочувствия.

Таблица 7

**Предельно допустимые уровни загрязнения кожи рук
работающих с вредными веществами по СН 4618-88 (извлечение)**

Наименование вещества	ПДК, мг/м ²	Наименование вещества	ПДК, мг/м ²
Бензол	0,05	Метиловый спирт (метанол)	0,02
Жирные спирты фракции С5-С10 (амиловый, гексиловый, гептиловый, октиловый, нониловый, дециловый)	0,02	Метилтестостерон	0,0003
Ксилидин	0,08	Нитрил криловой кислоты	0,001
Ксилол	1,75	Нитробензол	2,4
		Металлическая сурьма	0,001 (по сурьме)
		Толуол	0,05
		Хлорбензол	0,8

Максимальная (разовая) концентрация ПДК_{мр} – наиболее высокая из числа 30-минутных концентраций, зарегистрированных в данной точке за определенный период наблюдения.

В основу установления максимально разовой ПДК положен принцип предотвращения рефлекторных реакций у человека.

Среднесуточная концентрация ПДК_{сс} – средняя из числа концентраций, выявленных в течении суток или отбираемая непрерывно в течении 24 ч.

В основу определения среднесуточной концентрации положен принцип предотвращения резорбтивного (общетоксического) действия на организм.

Если порог токсического действия для какого-то вещества оказывается менее чувствительным, то решающим в обосновании ПДК является порог рефлекторного воздействия как наиболее чувствительный. В подобных случаях ПДК_{мр} > ПДК_{сс}, например, для бензина и акролеина. Если же порог рефлекторного действия менее чувствителен, чем порог токсического действия, то принимают ПДК_{мр} = ПДК_{сс}. Существует группа веществ, у которых отсутствует порог рефлекторного действия (мышьяк, марганец и др.) или он выражен недостаточно четко [оксид ванадия (V)]. Для таких веществ ПДК_{мр} не нормируется, а устанавливается лишь ПДК_{сс}. Эти концентрации определены списком № 3086-84, утвержденным МЗ России (табл 3.6).

Нормирование качества воды рек, озёр и водохранилищ проводят в соответствии с “Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения” № 4630- 88 МЗ СССР двух категорий: I – водоёмы хозяйственно- питьевого и культурно-бытового назначения и II – рыбохозяйственного назначения.

Таблица 8

Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ (мг/м³) в атмосферном воздухе населённых мест (извлечения)

Вещество	ПДК _{мп}	ПДК _{сс}	Класс опасности
Диоксид азота	0,085	0,04	2
Оксид азота	0,6	0,06	3
Бенз(а)пирен	-	0,1 мкг/100м ³	1
Бензол	1,5	0,1	2
Диоксид серы	0,5	0,05	3
Неорганическая пыль	0,15	0,05	3
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца (в пересчете на Pb)	-	0,0003	1
Оксид углерода	5	3	4

Правила устанавливают нормируемые значения для следующих параметров воды водоемов: содержание плавающих примесей и взвешенных веществ, запах, привкус, окраска и температура воды, значение рН, состав и концентрации минеральных примесей и растворенного в воде кислорода, биологическая потребность воды в кислороде, состав и ПДК_в ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий.

Лимитирующий показатель вредности (ЛПВ) для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения используют трех видов: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический; для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

В табл. 9 представлены ПДК_в некоторых веществ для водоемов.

Таблица 9

ПДК_в некоторых веществ для водоемов (извлечения)

Вещество	Водоемы I категории		Водоемы II категории	
	ЛПВ	ПДК _в , г/м ³ (мг/л)	ЛПВ	ПДК _в , г/м ³ (мг/л)
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5	Токсикологический	0,5
Фенолы	Органолептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Бензин, керосин	То же	0,1	То же	0,01
Cu ²⁺ (медь)	Общесанитарный	1,0	Токсикологический	0,01

Санитарное состояние водоема отвечает требованиям норм при выполнении следующего соотношения:

$$\sum_{i=1}^{5(3)} C_m^i / ПДК_i \leq 1$$

где C_m^i – концентрация вещества i -го ЛПВ в расчетном створе водоема; ПДК $_i$ – предельно допустимая концентрация i -го вещества.

Для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения проверяют выполнение трех, а для водоемов рыбохозяйственного назначения – пяти неравенств. При этом каждое вещество можно учитывать только в одном неравенстве.

Гигиенические и технические требования к источникам водоснабжения и правила их выбора в интересах здоровья населения регламентируются ГОСТ 2761-84. Гигиенические требования к качеству питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения указаны в санитарных правилах и нормах СанПиН 2.1.4.559-96 и СанПиН 2.1.4.544-966.

Нормирование химического загрязнения почв осуществляется по предельно допустимым концентрациям (ПДК $_П$). Это концентрация химического вещества (мг) в пахотном слое почвы (кг), которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. По своей величине ПДК $_П$ значительно отличается от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха. Это отличие объясняется тем, что поступление вредных веществ в организм непосредственно из почвы происходит в исключительных случаях в незначительных количествах, в основном через контактирующие с почвой среды (воздух, воду, растения).

Таблица 10

ПДК $_П$ для почвы

Вещество	ПДК $_П$ мг/кг	Вещество	ПДК $_П$ мг/кг
Марганец	1500 по ОС	Бромфос	0,4 по ТВ
Мышьяк	2 по ОС	Перхлордивинил	0,5 по ТВ
Ртуть	2,1 по ОС	Изопропилбензол	0,5 по МА
Свинец	20 по ОС	Фосфора Оксид P $_2$ O $_5$	200 по ТВ
Хром	0,05 по МВ	α -Метилстирол	0,5 по МА
Бенз(а)пирен	0,02 по ОС	Формальдегид	7 по ОС

Регламентирование загрязнения осуществляется в соответствии с нормативными документами. Различают четыре разновидности ПДК $_П$ (табл. 6) в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ – транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений; МА -

миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ – миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС – общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоциноз.

Для оценки содержания вредных веществ в почве проводят отбор проб на участке площадью 25 м² в 3...5 точках по диагонали с глубины 0,25 м, а при выяснения влияния загрязнения на грунтовые воды – с глубины 0,75...2 м в количестве 0,2...1 кг. В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют ПДК_п, рассчитывают временные допустимые концентрации

$$ВДК_{п} = 1,23 + 0,48 ПДК_{пр},$$

где ПДК_{пр} – предельно допустимая концентрация для продуктов питания (овощных и плодовых культур), мг/кг.

К профессиональным заболеваниям, вызываемым воздействием вредных веществ, относятся острые и хронические интоксикации, протекающие с изолированным или сочетанным поражением органов и систем: токсическое поражение органов дыхания (ринофаринголарингит, эрозия, перфорация носовой перегородки, трахеит, бронхит, пневмосклероз и др.), токсическая анемия, токсический гепатит, токсическая нефлопатия, токсическое поражение нервной системы (полиневропатия, неврозоподобные состояния, энцефалопатия), токсическое поражение глаз (катаракта), конъюнктивит, кератоконъюнктивит, токсическое поражение костей: остеопороз, остеосклероз. В эту же группу входят болезни кожи, металлическая, фторопластовая (тефлоновая) лихорадка, аллергические заболевания, новообразования.

Следует иметь ввиду возможность развития профессиональных опухолевых заболеваний, особенно органов дыхания, печени, желудка и мочевого пузыря, лейкозы при длительных контактах с продуктами перегонки каменного угля, нефти, сланцев, с соединениями никеля, хрома, мышьяка, винилхлоридом, радиоактивными веществами и т.д.

Профессиональные заболевания, вызываемые воздействием промышленных аэрозолей: пневмокониозы (силикоз, силикатозы, металлокониозы, карбокониозы, пневмокониозы от смешанной пыли, пневмокониозы от пыли пластмасс), биссиноз, хронический бронхит.

Происходит постоянный рост частоты профессиональных заболеваний аллергической природы: конъюнктивиты и риниты, бронхиальная астма и астматический бронхит, токсикодермия и экзема, токсикоаллергический гепатит при воздействии химических веществ – аллергенов. Среди них существенное место занимают лекарственные

препараты, например витамины и сульфаниламиды, вещества биологической природы (гормональные и ферментные препараты и т.д.).

Факторы среды обитания, распространенные в условиях населенных мест, могут приводить к росту общих заболеваний, развитие и течение которых провоцируется неблагоприятным влиянием окружающей среды. К ним относятся респираторно-аллергические заболевания органов дыхания, болезни сердечнососудистой системы, печени, почек, селезенки, нарушение детородной функции женщин, увеличение числа детей, родившихся с пороками, снижений половой функции мужчин, рост онкологических заболеваний.

1.6. Основные положения токсикологии

В современном производстве находит применение более 50 тысяч химических соединений, большинство из которых синтезировано человеком и не встречается в природе.

Изучение потенциальной опасности вредного воздействия химических веществ на живые организмы является предметом химико-биологической науки — токсикологии. Токсикология изучает механизмы токсического действия химических веществ, диагностику, профилактику и лечение отравлений. Вредное вещество, т.е. химический элемент или соединение, вызывающее заболевание организма, является центральным понятием токсикологии. Область токсикологии, изучающее действие на человека вредных веществ, встречающихся в производственных условиях, называется промышленной токсикологией.

В промышленности вредные вещества находятся в газообразном, жидком и твердом состояниях. Они способны проникать в организм человека через органы дыхания, пищеварения или кожу. Вредное действие химических веществ определяется как свойствами самого вещества (химическая структура, физико-химические свойства, количество попавшего в организм — доза или концентрация — сочетание вредных веществ, находящихся в организме), так и особенностями организма человека (индивидуальная чувствительность к химическому веществу, общее состояние здоровья, возраст, условия труда).

По токсическому (вредному) эффекту воздействия на организм человека химические вещества разделяют на общетоксические, раздражающие, сенсибилизирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию.

Общетоксические химические вещества (углеводороды, спирты, анилин, сероводород, синильная кислота и ее соли, соли ртути, хлорированные углеводороды, оксид углерода) вызывают расстройства

нервной системы, мышечные судороги, нарушают структуру ферментов, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином.

Раздражающие вещества (хлор, аммиак, диоксид серы, туманы кислот, оксиды азота и др.) воздействуют на слизистые оболочки, верхние и глубокие дыхательные пути.

Сенсибилизирующие вещества (органические азокрасители, диметиламиноазобензол и другие антибиотики) повышают чувствительность организма к химическим веществам, а в производственных условиях приводят к аллергическим заболеваниям.

Канцерогенные вещества (бензапирен, асбест, нитроазосоединения, ароматические амины и др.) вызывают развитие всех видов раковых заболеваний. Этот процесс может быть отдален от момента воздействия вещества на годы и даже десятилетия.

Мутагенные вещества (этиленамин, окись этилена, хлорированные углеводороды, соединения свинца и ртути и др.) оказывают воздействие на неполовые (соматические) клетки, входящие в состав всех органов и тканей человека, а также на половые клетки (гаметы). Воздействие мутагенных веществ на соматические клетки вызывают изменения в генотипе человека, контактирующего с этими веществами. Они обнаруживаются в отдаленном периоде жизни и проявляются в преждевременном старении, повышении общей заболеваемости, злокачественных новообразований. При воздействии на половые клетки мутагенное влияние сказывается на последующее поколение, иногда в очень отдаленные сроки.

Химические вещества, влияющие на репродуктивную функцию человека (борная кислота, аммиак, многие химические вещества в больших количествах), вызывают возникновение врожденных пороков развития и отклонений от нормальной структуры у потомства, влияют на развитие плода в матке и послеродовое развитие, и здоровье потомства.

Биологическое действие химических веществ на организм человека изменяет его гомеостаз (относительное постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма), т.е. способность организма к авторегуляции при изменении окружающей среды. Авторегуляцию биологической системы следует рассматривать как регуляцию динамического состояния открытой системы, подтвержденной биологическому ритму. При этом гомеостаз включает в себя не только динамическое постоянство биологического объекта, но и устойчивость его основных биологических функций. А воздействие вредного вещества может вызывать не только изменение определенных параметров биологического объекта, но и повреждение систем регулирования гомеостаза, т.е. нарушение последнего. Для сохранения гомеостаза в условиях разнообразных химических

воздействий в процессе эволюции выработалась специальная система биохимической детоксикации. При относительно малых воздействиях вредных веществ нарушение гомеостаза не происходит.

Область $X_1—X_2$ — это область гомеостаза. Часть этой области с относительно постоянной функцией называется гомеостатическим плато. Оно, как правило, более выпукло у биологических объектов низшего иерархического уровня. Кроме того, это плато в действительности представляет собой несколько «размытую» область, так как оптимальные параметры биологического объекта (Y) не строго постоянны во времени, а колеблются в определенных пределах. Вне области $X_1—X_2$ происходит нарушение гомеостаза, т.е. резкое изменение значений Y . Находящиеся внутри области $X_1—X_2$ значение X_0 — это значение X , характерное для нормального функционирования объекта. Значения X_1 и X_2 называются критическими (пороговыми) значениями X . Область гомеостаза — это область отрицательной обратной связи, так как организм работает в сторону возвращения системы в исходное (стационарное) состояние. При сильных нарушениях гомеостаза объект может перейти в область положительной обратной связи, когда изменения, вызванные воздействием вредных веществ, могут стать необратимыми, и объект все дальше и дальше будет отклоняться от стационарного состояния.

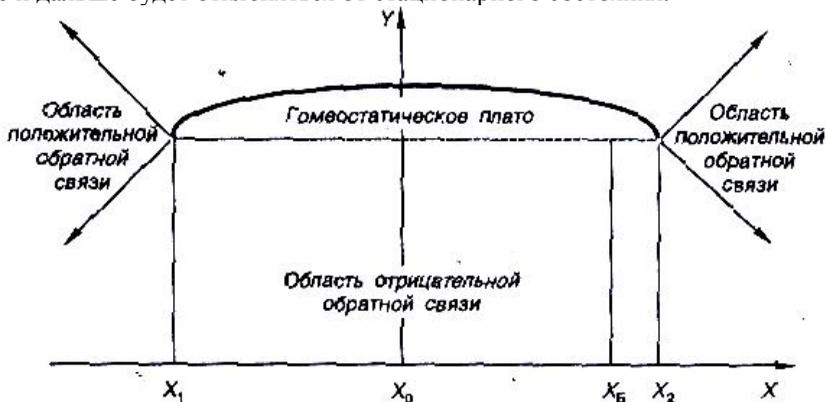


Рис. 4. Схема гомеостаза: Y — какое-либо свойство биологического объекта; X — концентрация или доза вредного вещества, характеризующая его воздействием на биологический объект; X_B — безопасный уровень воздействия вещества

Изучение биологического действия химических веществ на человека показывает, что вредное их воздействие всегда начинается с определенной пороговой концентрации. Для количественной оценки вредного воздействия на человека химического вещества в

промышленной токсикологии используются показатели, характеризующие степень его токсичности.

Средняя смертельная концентрация в воздухе LK_{50} — концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % животных при двух-, четырехчасовом ингаляционном воздействии на мышей или крыс.

Средняя смертельная доза LD_{50} — доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном введении в желудок.

Средняя смертельная доза при нанесении на кожу LK_{50} — доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном нанесении на кожу.

Порог хронического действия Lim_{cr} — минимальная (пороговая) концентрация вредного вещества, вызывающего вредное действие в хроническом эксперименте по 4 часа 5 раз в неделю на протяжении не менее 4 месяцев.

Порог острого действия Lim_{ac} — минимальная (пороговая) концентрация вредного вещества, вызывающая изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций.

Зона острого действия Z_{ac} — отношение среднесмертельной концентрации (LK_{50} к порогу острого действия Lim_{ac})

$$Z_{ac} = LK_{50} / Lim_{ac}$$

Это соотношение показывает размах концентраций, оказывающих действие на организм при однократном поступлении, от начальных до крайних, влияющих наиболее неблагоприятно.

Зона хронического действия Z_{cr} — отношение порога острого действия Lim_{ac} к порогу хронического действия.

$$Z_{cr} = Lim_{ac} / Lim_{cr}$$

Это соотношение показывает, насколько велик разрыв между концентрациями, вызывающими начальные явления интоксикации при однократном и длительном поступлении в организм. Чем меньше зона острого действия, тем опаснее вещество, поскольку даже небольшое превышение пороговой концентрации может вызвать смертельный исход. Чем шире зона хронического действия, тем опаснее вещество, так как концентрации, оказывающие хроническое действие, значительно меньше вызывающих острое отравление.

Коэффициент возможного ингаляционного отравления (КВИО) — отношение максимально достигаемой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей.

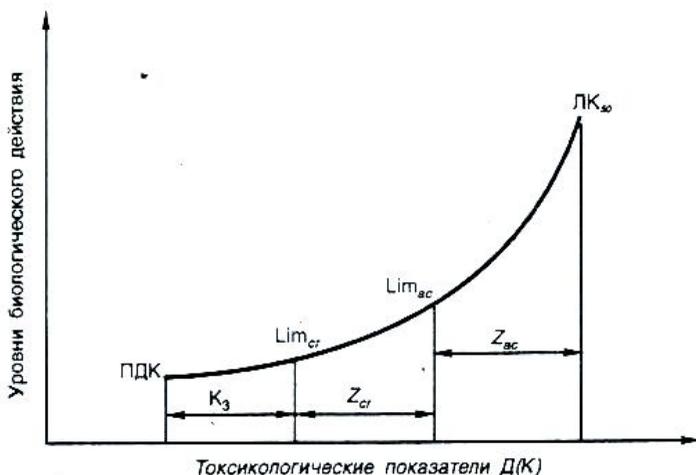


Рис. 5 Зависимость биологического действия химических веществ от токсикологических показателей

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны $ПДК_{р.з}$ — такая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

$ПДК_{р.з}$ устанавливается на уровне 2—3 раза и ниже, чем порог хронического действия Lim_{cr} . Такое, снижение называется коэффициентом запаса (K_3).

Согласно ГОСТ 12.1.007—76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» по степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

- 1) чрезвычайно опасные;
- 2) высоко опасные;
- 3) умеренно опасные;
- 4) малоопасные.

Государственный стандарт устанавливает токсикологические параметры только для 2000 химических веществ, для которых были проведены комплексные токсиколого-гигиенические исследования. Но в промышленности используется гораздо больше химических веществ и для

обеспечения безопасности труда работников необходима по меньшей мере оценка токсичности (вредного воздействия) применяемых в производстве химических веществ. Для такой оценки специалистами в области промышленной токсикологии предложены несколько формул, расчеты которые дают хорошее приближение к действительным значениям ПДК_{р.з.}

Производить расчет по формулам можно лишь для тех химических веществ, приведенные физико-химические константы которых укладываются в определенные пределы: молярная масса M (кг * моль⁻¹) — от 30 до 300; плотность ρ (кг * м³) — от 0,6 до 2,0; температура кипения $t_{\text{кип}}$ (°C) — от -100 до +300; температура плавления $t_{\text{пл}}$ (°C) — от -190 до +180; показатель преломления n_p — от 1,3 до 1,6. Ниже приведены уравнения, используемые для расчета значений ПДК_{р.з.}, мг/м³:

$$\text{LgПДК}_{\text{р.з.}} = 14,2 - 10n_p + \ln M;$$

$$\text{LgПДК}_{\text{р.з.}} = \text{lg}M - 0,012t_{\text{пл}} - 1,2;$$

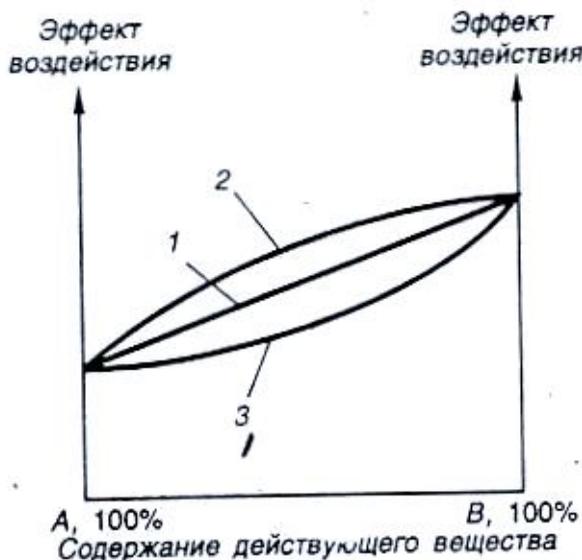


Рис. 6 Характеристики эффекта воздействия вредного вещества на организм человека

$$\text{lgПДК}_{\text{р.з.}} = 0,4 - 0,01M + \text{lg}M;$$

$$\text{lgПДК}_{\text{р.з.}} = 0,6 - 0,01t_{\text{кип}} + \text{lg}M;$$

$$\text{lgПДК}_{\text{р.з.}} = 1,6 - 2,2\rho + \text{lg}M;$$

Формулы, которые используют для расчета ПДК_{р.з} (мг/м³) конкретных вредных веществ, указаны ниже. Для паров и газов органической жидкости:

$$\begin{aligned} \lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} &= 0,911 \lg \text{ЛК}_{50} + 0,1 + \lg M; \\ \lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} &= \lg \text{ЛД}_{50} - 2,0 + \lg M. \end{aligned}$$

Для аэрозолей нелетучих и малолетучих органических и элементоорганических веществ:

$$\lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} = \lg \text{ЛД}_{50} - 1,3 + \lg M.$$

Для газов и паров неорганических веществ:

$$\lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} = \lg \text{ЛК}_{50} + 0,4 + \lg M.$$

Для аэрозолей металлов и их оксидов:

$$\lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} = 0,851 \lg \text{ЛД}_{50} - 3 + \lg M - \lg N,$$

где N — число атомов металла в молекуле вещества.

В производственных условиях работа проводится, как правило, с несколькими химическими веществами, которые могут оказывать комбинированное воздействие на организм человека. Различают три возможных эффекта (рис. 3.4) комбинированного воздействия химических веществ на организм человека:

1 — суммация (аддитивность) — явление суммирования эффектов, индуцированных комбинированным действием;

2 — потенцирование (синергизм) — усиление эффекта воздействия (эффект, превышающий суммацию);

3 — антагонизм — эффект комбинированного воздействия меньше ожидаемого при суммации.

Нормирование комбинированного действия

$$\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1,$$

отвечает случаю аддитивности.

При потенцировании пользуются формулой

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i X_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1,$$

где X_1 — поправка, учитывающая усиление эффекта; C_i — фактические концентрации химических веществ в воздухе рабочей зоны, ПДК_i — их предельно допустимые концентрации.

1.7. Производственная среда и условия труда

Производственная среда — это пространство, в котором осуществляется трудовая деятельность человека. В производственной

среде как части техносферы формируются негативные факторы, которые существенно отличаются от негативных факторов природного характера. Эти факторы формируют элементы производственной среды (среды обитания), к которым относятся: 1) предметы труда; 2) средства труда (инструмент, технологическая оснастка, машины и т.п.); 3) продукты труда (полуфабрикаты, готовые изделия); 4) энергия (электрическая, пневматическая, химическая, тепловая и др.); 5) природно-климатические факторы (микrokлиматические условия труда: температура, влажность и скорость движения воздуха); 6) растения, животные; 7) персонал.

Производственные помещения — это замкнутые пространства производственной среды, в которых постоянно (по сменам) или периодически (в течение рабочего дня) осуществляется трудовая деятельность людей, связанная с участием в различных видах производства, в организации, контроле и управлении производством. Внутри производственных помещений находятся рабочая зона и рабочие места.

Рабочей зоной называется пространство (до 2 м) над уровнем пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

Рабочее место — часть рабочей зоны; оно представляет собой место постоянного или временного пребывания работающих в процессе трудовой деятельности.

Условия труда — сочетание различных факторов, формируемых элементами производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека.

1.8. Классы условий труда по степени вредности и опасности

Исходя из гигиенических критериев и принципов, классификации условия труда подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

Оптимальные условия труда (1 класс) - такие условия, при которых сохраняется здоровье работающих, и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные нормативы производственных

факторов установлены для микrokлиматических параметров и факторов трудового процесса. Для других факторов условно за оптимальные принимаются такие условия труда, при которых неблагоприятные факторы отсутствуют, либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

Допустимые условия труда (2 класс) характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не должны оказывать неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние' здоровья работающих и их потомство. Допустимые условия труда условно относятся к безопасным.

Вредные условия труда (3 класс) характеризуются наличием вредных производственных факторов, превышающих гигиенические нормативы и оказывающих неблагоприятное действие на организм работающего и/или его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работающих подразделяются на 4 степени вредности:

1 степень 3 класса (3.1.) - условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья.

2 степень 3 класса (3.2.) - уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению производственно обусловленной заболеваемости (что проявляется повышением уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности и, в первую очередь, теми болезнями, которые отражают состояние наиболее уязвимых органов и систем для данных вредных факторов), появлению начальных признаков? или легких (без потери профессиональной трудоспособности) форм профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет).

3 степень 3 класса (3.3) - условия труда, характеризующиеся такими уровнями вредных факторов, воздействие которых приводит к развитию, как правило, профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в периоде трудовой деятельности, росту хронической (производственно-обусловленной) патологии, включая повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

4 степень 3 класса (3.4.) - условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности), отмечается значительный рост числа

хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Опасные (экстремальные) условия труда (4 класс) характеризуются такими уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в том числе и тяжелых форм.

1.9. Производственный микроклимат и его влияние на организм человека

Микроклимат производственных помещений — это климат среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) оказывают влияние на процесс теплообмена и характер работы. Как бы указано ранее, микроклимат характеризуется температурой воздуха, её влажностью и скоростью движения, а также интенсивностью теплового излучения. Длительное воздействие на человека неблагоприятных и метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения.

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая относительная влажность (отношение содержания водяных паров в 1 м³ воздуха к их максимально возможному содержанию в этом же объеме) при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

Подвижность воздуха эффективно способствует теплоотдаче организма человека и положительно проявляется при высоких температурах, но отрицательно при низких.

Субъективные ощущения человека меняются в зависимости от изменения параметров микроклимата.



Рис. 7 Классификация производственного микроклимата

Таблица 11

Зависимость субъективных ощущений человека от параметров рабочей среды

Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха %	Субъективное ощущение
21	40	Наиболее приятное состояние
	75	Хорошее, спокойное состояние.
	85	Отсутствие неприятных ощущений.
	90	Усталость, подавленное состояние.
24	20	Отсутствие неприятных ощущений.
	65	Неприятные ощущения.
	80	Потребность в покое.
	100	Невозможность выполнения тяжелой работы.
30	25	Неприятные ощущения отсутствуют.
	50	Нормальная работоспособность.
	65	Невозможность выполнения тяжелой работы.
	80	Повышение температуры тела.
	90	Опасность для здоровья.

Для создания нормальных условий труда в производственных помещениях обеспечивают нормативные значения параметров микроклимата — температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения, а также интенсивности теплового излучения.

В ГОСТ 12.1.005—88 указаны оптимальные и допустимые показатели микроклимата в производственных помещениях. Оптимальные показатели распространяются на всю рабочую зону, а допустимые устанавливаются раздельно для постоянных и непостоянных

рабочих мест в тех случаях, когда по технологическим, техническим или экономическим причинам невозможно обеспечить оптимальные нормы.

Оптимальные **микроклиматические условия** представляют собой сочетание количественных показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального теплового состояния его организма без напряжения механизмов терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

Допустимые микроклиматические условия представляют собой сочетание количественных показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния его организма, сопровождающиеся напряжением механизма терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает ухудшения или нарушения состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года и физическую тяжесть выполняемых работ. Под временем года подразумевают два периода: холодный (среднесуточная температура наружного воздуха составляет $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже) и теплый (соответствующее значение превышает $+10^{\circ}\text{C}$).

1.10. Пути создания комфортных параметров микроклимата

Вентиляцией называется комплекс взаимосвязанных устройств и процессов для создания требуемого воздухообмена в производственных помещениях. Основное назначение вентиляции — удаление из рабочей зоны загрязненного или перегретого воздуха и подача чистого воздуха, в результате чего в рабочей зоне создаются необходимые благоприятные условия воздушной среды. Одна из главных задач возникающих при устройстве вентиляции, — определение воздухообмена, т.е. количество вентиляционного воздуха, необходимого для обеспечения оптимального санитарно-гигиенического уровня воздушной среды помещений.

В зависимости от способа перемещения воздуха в производственных помещениях вентиляция делится на естественную и искусственную (механическую).

Применение вентиляции должно быть обосновано расчетами, при которых учитываются температура, влажность воздуха, выделение вредных веществ, избыточное тепловыделение. Если в помещении нет вредных выделений, то вентиляция должна обеспечивать воздухообмен не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на каждого работающего (для помещений с объемом до 20 м^3 на одного работающего). При выделении вредных веществ в воздух рабочей зоны необходимый воздухообмен определяют исходя из условий их разбавления до ПДК, а при наличии тепловых избытков — из условий поддержания допустимой температуры в рабочей зоне.

Естественная вентиляция производственных помещений осуществляется за счет разности температур в помещении и наружного воздуха (тепловой напор) или действия ветра (ветровой напор). Естественная вентиляция может быть организованной и неорганизованной.

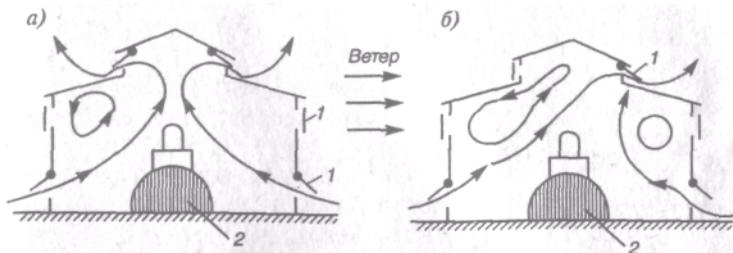


Рис. 8 Схема естественной вентиляции здания: а - при безветрии; б - при ветре; 1 - вытяжные и приточные отверстия; 2 - тепловыделяющий агрегат

При неорганизованной естественной вентиляции воздухообмен осуществляется за счет вытеснения внутреннего теплого воздуха наружным холодным воздухом через окна форточки, фрамуги и двери. Организованная естественная вентиляция, или аэрация, обеспечивает воздухообмен в заранее рассчитанных объемах и регулируемый в соответствии с метеорологическими условиями. Бесканальная аэрация осуществляется при помощи проемов в стенах и потолке и рекомендуется в помещениях большого объема со значительными избытками теплоты. Для получения расчетного воздухообмена вентиляционные проемы в стенах, а также в кровле здания (аэрационные фонари) оборудуют фрамугами, которые открываются и закрываются с пола помещения. Манипулируя фрамугами, можно регулировать воздухообмен при изменении наружной температуры воздуха или скорости ветра (рис. 4.1). Площадь вентиляционных проемов и фонарей рассчитывают в зависимости от необходимого воздухообмена.

В производственных помещениях небольшого объема, а также в помещениях, расположенных в многоэтажных производственных зданиях,

применяют канальную аэрацию, при которой загрязненный воздух удаляется через вентиляционные каналы в стенах. Для усиления вытяжки на выходе из каналов на крыше здания устанавливают дефлекторы — устройства, создающие тягу при обдувании их ветром. При этом поток ветра, ударяясь о дефлектор и обтекая его, создает вокруг большей части его периметра разрежение, обеспечивающее подсос воздуха из канала. Наибольшее распространение получили дефлекторы типа ЦАГИ (рис. 4.2), которые представляют собой цилиндрическую обечайку, укрепленную над вытяжной трубой. Для улучшения подсосывания воздуха давлением ветра труба оканчивается плавным расширением — диффузором. Для предотвращения попадания дождя в дефлектор предусмотрен колпак.

Расчет дефлектора сводится к определению диаметра его патрубка. Ориентировочно диаметр патрубка d дефлектора типа ЦАГИ можно вычислить по формуле:

$$d = 0.0188 \sqrt{\frac{L}{L_B}}$$

где L — объем вентиляционного воздуха м³/ч; V_B — скорость воздуха в патрубке, м/с.

Скорость воздуха (м/с) в патрубке при учете только давления, создаваемого действием ветра, находят по формуле

$$V_B = \sqrt{\frac{0.4V_{ветер}^2}{1,2 + \sum \varepsilon + 0,02l/d^2}}$$

где $V_{ветер}$ — скорость ветра, м/с; $\sum \varepsilon$ — сумма коэффициентов местного сопротивления вытяжного воздуховода при его отсутствии $\varepsilon=0,5$ (при входе в патрубок); l длина патрубка или вытяжного воздуховода, м.

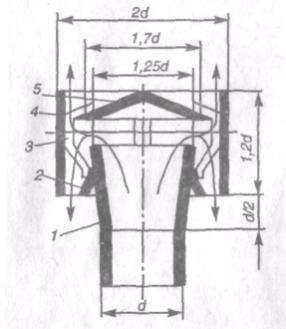


Рис. 9 Схема дефлектора типа ЦАГИ: 1 — диффузор; 2 — конус; 3 — лапки, 4 — обечайка, 5 — колпак

С учетом давления, создаваемого ветром и теплового давления скорость воздуха в патрубке вычисляется по формуле

$$V_B = \sqrt{\frac{0,4V_{ветер}^2 + 1,6\rho}{1,2 + \Sigma\varepsilon + 0,02l/d}}$$

где $p = h_d(\rho_H - \rho_B)$ — тепловое давление Па; здесь h_d — высота дефлектора, м; ρ_H , ρ_B — плотность, соответственно, наружного воздуха и воздуха внутри помещения, кг/м.

Скорость движения воздуха в патрубке составляет примерно 0,2...0,4 скорости ветра, т.е. $V_B = (0,2-0,4)V_{ветер}$. Если дефлектор установлен без вытяжной трубы непосредственно в перекрытии, то скорость воздуха несколько больше $V_B = 0,5V_{ветер}$.

Аэрация применяется для вентиляции производственных помещений большого объема. Естественный воздухообмен осуществляется через окна, световые фонари с использованием теплового и ветрового напоров. Тепловое давление, в результате которого воздух поступает в помещение и выходит из него, образуется за счет разности температур наружного и внутреннего воздуха и регулируется различной степенью открытия фрагм и фонарей. Разность этих давлений на одном и том же уровне называется внутренним избыточным давлением $p_{изб}$. Оно может быть как положительным, так и отрицательным.

При отрицательном значении $p_{т6}$ (превышении наружного давления над внутренним) воздух поступает внутрь помещения, а при положительном значении $p_{изб}$ (превышении внутреннего давления над наружным) воздух выходит из помещения. При $p_{изб} = 0$ движения воздуха через отверстия в наружном ограждении не будет. Нейтральная

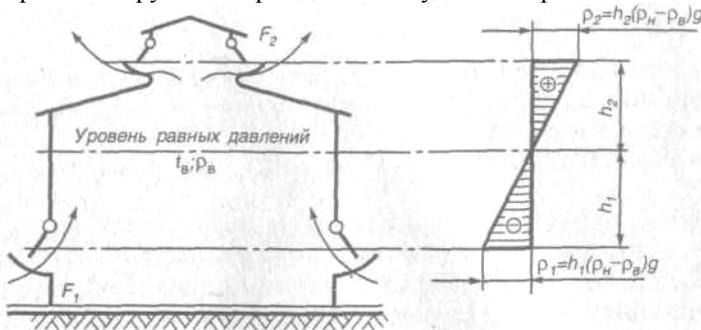


Рис. 10 Схема аэрации здания

зона в помещении (где $p_{т6}=0$) может быть только при действии одних теплоизбытков; при ветре с теплоизбытками она резко смещается вверх и исчезает. Расстояния нейтральной зоны от середины вытяжного и приточного отверстий обратно пропорциональны квадратам площадей отверстий. При $F_x - F_2 \cdot h_1 = h_2 = h/2$, где F_1 F_2 — площади, соответственно, входных и выпускных отверстий, m^2 ; h_1 , h_2 — высоты расположения уровня равных давлений, соответственно, от входного до выпускного отверстий, м.

Расход воздуха G , который протекает через отверстие, имеющее площадь F , вычисляют по формуле:

$$G = \mu F \sqrt{2 \rho \Delta p},$$

где G — массовый секундный расход воздуха, т/с; μ — коэффициент расхода, зависящий от условий истечения; ρ — плотность воздуха в исходном состоянии, kg/m^3 ; Δp — разность давлений внутри и снаружи помещения в данном отверстии, Па.

Ориентировочное количество воздуха, выходящего из помещения через $1 m^2$ площади отверстия, с учетом только теплового давления и при условии равенства площадей отверстий в стенках и фонарях и коэффициенте расхода $\mu = 0,6$ можно определить по упрощенной формуле:

$$L = 420 \sqrt{H \Delta t},$$

где L — количество воздуха, $m^3/ч$; H — расстояние между центрами нижних и верхних отверстий, м; Δt — разность температур: средней (по высоте) в помещении и наружной, $^{\circ}C$.

Аэрация с использованием ветрового давления основана на том, что на наветренных поверхностях здания возникает избыточное давление, а на заветренных сторонах разрежение. Ветровое давление на поверхности ограждения находят по формуле:

$$P_B = k_B V_p^2 / 2,$$

где k — аэродинамический коэффициент, показывающий, какая доли динамического давления ветра преобразуется в давление на данной участке ограждения или кровли. Этот коэффициент можно принять средним равным для наветренной стороны $+0,6$, а для подветренной $-0,3$.

Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Основной ее недостаток заключается в том, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева, а удаляемый воздух не очищается и загрязняет атмосферу. Естественная вентиляция применима там, где нет больших выделений вредных веществ в рабочую зону.

Искусственная (механическая) вентиляция устраняет недостатка естественной вентиляции. При механической вентиляции воздухообмен осуществляется за счет напора воздуха, создаваемого вентиляторами (осевыми и центробежными); воздух в зимнее время подогревается, в летнее — охлаждается и, кроме того, очищается от загрязнений (пыли и вредных паров и газов). Механическая вентиляция бывает приточной, вытяжной, приточно-вытяжной, а по месту действия — общеобменной и местной.

При приточной системе вентиляции (производится забор воздуха извне с помощью вентилятора черв калорифер, где воздух нагревается и при необходимости увлажняется, затем подается в помещение. Количество подаваемого воздуха регулируется клапанами или заслонками, устанавливаемыми в ответвлениях. Загрязненный воздух выходит через двери, окна, фонари и щели неочищенным.

При вытяжной системе вентиляции загрязненный и перегретый воздух удаляется из помещения через сеть воздухопроводов с помощью вентилятора. Загрязненный воздух перед выбросом в атмосферу очищается. Чистый воздух подсасывается черв окна, двери, не плотности конструкций.

Приточно – вытяжная система вентиляций состоит из двух отдельных систем — приточной и вытяжной, которые одновременно подают в помещение чистый воздух удаляют из него загрязненный. Приточные системы вентиляции также возмещают воздух, удаляемый местными отсосами и расходуемый на технологические нужды: огневые процессы, компрессорные установки пневмотранспорт и др.

Для определения требуемого воздухообмена необходимо иметь следующие исходные данные: количество вредных выделений (тепла, влаги, газов и паров) за 1 ч, предельно допустимое количество (ПДК) вредных веществ в 1 м³ воздуха, подаваемого в помещение.

Для помещений с выделением вредных веществ искомый воздухообмен L , м³/ч, определяется из условия баланса поступающих в него вредных веществ и разбавления их до допустимых концентраций.

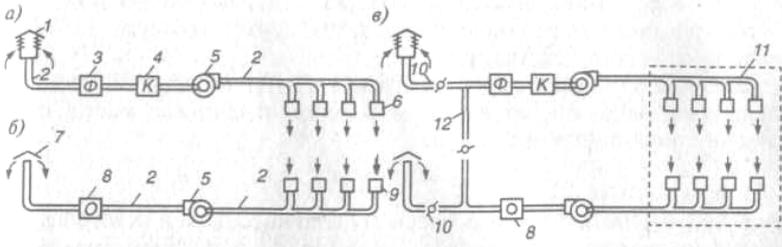


Рис. 11. Схема приточной, вытяжной и приточно-вытяжной механической вентиляции: а — приточная; б — вытяжная; в — приточно-вытяжная; 1 —

воздухоприемник для забора чистого воздуха; 2— воздуховоды; J — фильтр для очистки воздуха от пыли; 4—калориферы; 5 — вентиляторы; 6 — воздухораспределительные устройства (насадки); 7— вытяжные трубы для выброса удаляемого воздуха в атмосферу; 8 — устройства для очистки удаляемого воздуха; 9 — воздухозаборные отверстия для удаляемого воздуха; 10 — клапаны для регулирования количества свежего вторичного рециркуляционного и выбрасываемого воздуха; 11 — помещение, обслуживаемое приточно-вытяжной вентиляцией; 12 — воздуховод для системы рециркуляции

Условия баланса выражаются формулой:

$$G+G_{\text{пр}}=G_{\text{уд}},$$

где G — скорость выделения вредного вещества из технологической установки, мг/ч; $G_{\text{пр}}$ — скорость поступления вредных веществ с притоком воздуха в рабочую зону, мг/ч; $G_{\text{уд}}$ — скорость удаления разбавленных до допустимых концентраций вредных веществ из рабочей зоны, мг/ч.

Заменив в выражении $G_{\text{пр}}$ и $G_{\text{уд}}$ на произведение $L_{\text{пр}} q_{\text{пр}}$ и $L_{\text{уд}} q_{\text{уд}}$, где $q_{\text{пр}}$ и $q_{\text{уд}}$ — соответственно концентрации (мг/м³) вредных веществ в приточном и удаленном воздухе, а $L_{\text{пр}}$ и $L_{\text{уд}}$ объем приточного и удаляемого воздуха в м³ за 1 час, получим

$$G+L_{\text{пр}}q_{\text{пр}}=L_{\text{уд}}q_{\text{уд}}.$$

Для поддержания нормального давления в рабочей зоне должно выполняться равенство $L_{\text{пр}}=L_{\text{уд}}=L$, тогда

$$L=G/q_{\text{уд}}-q_{\text{пр}}.$$

Необходимый воздухообмен, исходя из содержания в воздухе водяных паров, определяют по формуле:

$$L_{\text{п}}=G_{\text{п}}/(d_{\text{уд}}-d_{\text{пр}})\rho,$$

где $L_{\text{п}}$ — количество удаляемого или приточного воздуха в помещении, м³/ч; $G_{\text{п}}$ — масса водяного пара, выделяющегося в помещении, г/ч; $d_{\text{уд}}$ — влагосодержание удаляемого воздуха, г/кг, сухого воздуха; $d_{\text{пр}}$ — влагосодержание приточного воздуха, г/кг, сухого воздуха; ρ — плотность приточного воздуха, кг/м³.

Влагосодержание d (г/кг) воздуха, т.е. отношение массы водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, к единице массы сухого воздуха определяют по формуле:

$$d=1000G_{\text{п}}G_{\text{в}}$$

где, $G_{\text{п}}$, $G_{\text{в}}$ — соответственно массы (г) водяного пара и сухого воздуха! Необходимо иметь в виду, что значения $d_{\text{уд}}$ и $d_{\text{пр}}$ принимаются по таблицам физической характеристики воздуха в зависимости от значения нормируемой относительной влажности вытяжного воздуха.

Для определения объема вентиляционного воздуха по избыточному теплу необходимо знать количество тепла, поступающего в помещения от различных источников (приход тепла), $Q_{\text{пр}}$, и количество тепла!

расходуемого на возмещение потерь через ограждения здания и другие цели. $Q_{\text{расх}}$, разность $Q_{\text{пр}} - Q_{\text{расх}} - Q_{\text{изб}}$ и выражает количество тепла которое идет на нагревание воздуха в помещении и которое должно учитываться при расчете воздухообмена.

Воздухообмен, необходимый для удаления избыточного тепла! вычисляют по формуле:

$$L = 3600 Q_{\text{изб}} / C_p (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}}),$$

где $Q_{\text{изб}}$ — избыточное количество тепла, Дж/с, $t_{\text{уд}}$ — температура удаляемого воздуха, °К; $t_{\text{пр}}$ — температура приточного воздуха, °К; C — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг К); ρ — плотность воздуха при 293 °К, кг/м³.

Местная вентиляция бывает вытяжная и приточная. Вытяжную вентиляцию устраивают, когда загрязнения можно улавливать непосредственно у мест их возникновения. Для этого применяют вытяжные шкафы, зонты, завесы, бортовые отсосы у ванн, кожухи, отсосы у станков и т.д. К приточной вентиляции относятся воздушные души завесы, оазисы.

Вытяжные шкафы работают с естественной или механической вытяжкой. Для удаления из шкафа избытков тепла или вредных примесей естественным путем необходимо наличие подъемной силы, которая возникает, когда температура воздуха в шкафу превышает температуру воздуха в помещении. Удаляемый воздух должен иметь достаточный запас энергии для преодоления аэродинамического сопротивления на пути от входа в шкаф до места выброса в атмосферу.

Объемный расход воздуха, удаляемого из вытяжного шкафа при естественной вытяжке (рис. 4.5), (м³/ч)

$$L = 114 \sqrt[3]{h Q F^2}$$

где h — высота открытого проема шкафа, м; Q — количество тепла выделяемого в шкафу, ккал/ч; F — площадь открытого (рабочего) проема шкафа, м².

$$H = \frac{\xi_{\text{вх+вых}}}{0,82 \frac{d^4}{F^2 h} - \frac{0,02}{d}}$$

где $\xi_{\text{вх+вых}}$ — сумма всех сопротивлений прямой трубы на пути движения воздуха; d — диаметр прямой трубы, м (предварительно задается).

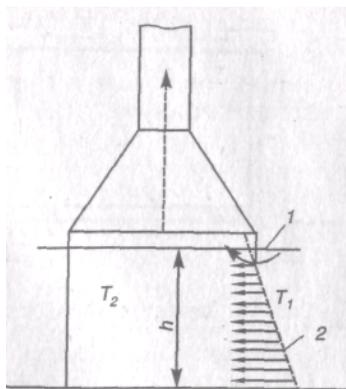


Рис. 12 Схема вытяжного шкафа с естественной вытяжкой: 1 — уровень нулевых давлений; 2 — эпюра распределения давления рабочем отверстии; T_1 — температура воздуха в помещении T_2 — температура газов внутри шкафа.

При механической вытяжке

$$L=3600VF,$$

Бортовые отсосы устраивают у производственных ванн для удаления вредных паров и газов, которые выделяются из растворов ванн. При ширине ванны до 0,7 м устанавливают однобортовые отсосы с одной из продольных ее сторон. При ширине ванны более 0,7 м (до 1 м) применяют двухбортовые отсосы.

Объемный расход воздуха, отсасываемого от горячих ванн одно и двухбортовыми отсосами, находят по формуле:

$$L = k_3 k_m C \left(\varphi \frac{T_B - T_B}{3T_n} gB^3 \right)^{1/2} l \cdot 3600,$$

где L — объемный расход воздуха, $m^3/ч$, k_3 — коэффициент запаса, равный 1,5...1,75, для ванн с особо вредными растворами 1,75...2; K_T — коэффициент для учета подсоса воздуха с торцов ванны, зависящий от отношения ширины ванны B к ее длине l ; для однобортового простого отсоса $K=(1+B/4l)^2$; для двухбортового — $k_T=(1+B/8l)^2$; C — безразмерная характеристика, равная для однобортового отсоса 0,35, для двухбортового — 0,5; (φ — угол между границами всасывающего (рис. 4.7); (в расчетах имеет значение 3,14); T_B и T_n — абсолютные температуры, соответственно, в ванне и воздуха в помещении, $^{\circ}K$; $g=9,81$ m/c^2 .

Вытяжные зонты применяют, когда выделяющиеся вредные пары и газы легче окружающего воздуха при незначительной его подвижности в помещении. Зонты могут быть как с естественной, так и с механической вытяжкой.

При естественной вытяжке начальный объемный расход воздуха в тепловой струе, поднимающейся над источником, определяют по формуле:

$$L = 0,65 \sqrt[3]{QF^2H},$$

где Q — количество конвективного тепла, Вт; F — площадь горизонтальной проекции поверхности источника тепловыделений, m^2 ; H — расстояние от источника тепловыделений до кромки зонта, м.

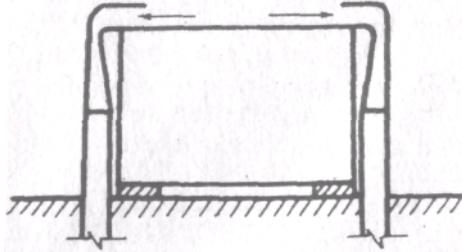


Рис. 13 Двухбортовой отсос от ванны

При механической вытяжке аэродинамическая характеристика зонта включает скорость по оси зонта, которая зависит от угла его раскрытия; с увеличением угла раскрытия увеличивается осевая скорость по сравнению со средним. При угле раскрытия 90° скорость по оси составляет $1,65v$ (v — средняя скорость, м/с), при угле раскрытия 60° скорость по оси и по всему сечению равна v .

В общем случае расход воздуха, удаляемого зонтом,

$$L = 3600vF,$$

где v — средняя скорость движения воздуха в приемном отверстии зонта, м/с; при удалении тепла и влаги скорость может быть принята $0,15 \dots 0,25$ м/с; F — площадь расчетного сечения зонта, m^2 .

Приемное отверстие зонта располагают над тепловым источником оно должно соответствовать конфигурации зонта, а размеры принимают несколько большими, чем размеры теплового источника в плане. Зонты устанавливают на высоте $1,7 \dots 1,9$ м над полом.

Для удаления пыли от различных станков применяют пылеприемные устройства в виде защитно-обеспыливающих кожухов, воронок и т.д.

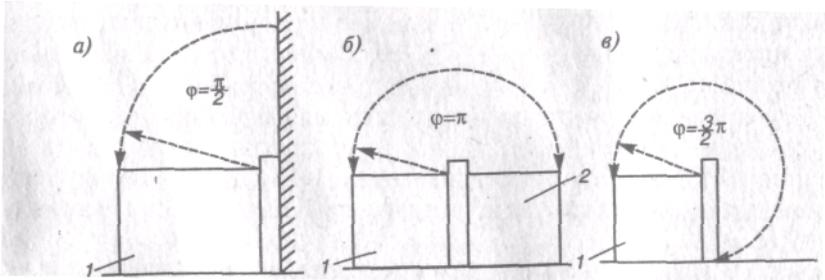


Рис. 14 Угол между границами всасывающего факела при различном расположении ванны: а — у стены ($\varphi=\pi/2$); б — рядом с ванной без отсоса ($\varphi=\pi$); в — отдельно ($\varphi=3\pi/2$); 1 — ванна с отсосом; 2 — ванна без отсоса. В расчетах принять $\pi=3,14$

Объемный расход воздуха L ($\text{м}^3/\text{ч}$), удаляемого от заточных, шлифовальных и обдирочных станков, рассчитывают в зависимости от диаметра круга $d_{\text{кр}}$ (мм), а именно:

$$\begin{aligned} \text{при } d_{\text{кр}} < 250 \text{ мм} & \quad L = 2d_{\text{кр}}, \\ \text{при } d_{\text{кр}} = 250 \dots 600 \text{ мм} & \quad L = 1,8d_{\text{кр}}; \\ \text{при } d_{\text{кр}} = 600 \text{ мм} & \quad L = 1,6d_{\text{кр}}. \end{aligned}$$

Расход воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) удаляемого воронкой, определяют по формуле:

$$L_{\text{в}} = 3600 V_{\text{н}} l \left(\frac{k}{\frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{к}}} - 1} \right)^{1/4},$$

где $V_{\text{н}}$ — начальная скорость вытяжного факела (м/с), равная скорости транспортирования пыли в воздуховоде, принимается для тяжелой наждачной пыли 14...16 м/с и для легкой минеральной 10...12 м/с; l — рабочая длина вытяжного факела, м; k — коэффициент, зависящий от формы и соотношения сторон воронки: для круглого отверстия $k = 7,7$ для прямоугольного с соотношением сторон от 1:1 до 1:3 $k=9,1$; $V_{\text{к}}$ — необходимая конечная скорость вытяжного факела у круга, принимаемая равной 2 м/с.

Тест

1. По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются:

а) вещества чрезвычайно опасные, вещества высокоопасные, вещества малоопасные, вещества неопасные;

б) вещества чрезвычайно опасные, вещества высокоопасные, вещества умеренно опасные, вещества малоопасные;

в) вещества чрезвычайно опасные, вещества очень опасные, вещества умеренно опасные, вещества малоопасные.

2. Отравления вредными веществами протекают:

а) в острой, неострой и хронической формах;

б) в чрезвычайно быстрой, острой и хронической формах;

в) в острой, подострой и хронической формах.

3. Комбинированное действие вредных веществ:

а) одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления;

б) параллельное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления;

в) одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при разных путях поступления в организм.

4. Гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводится в три этапа:

а) обоснование ОБУВ, обоснование ПДК, корректирование ПДК;

б) обоснование ОБУВ, установление ОБУВ, установление ПДК;

в) установление ОБУВ, корректировка ОБУВ, установление ПДК.

5. Исходной величиной для установления ПДК является:

а) коэффициент возможного ингаляционного отравления;

б) порог хронического действия;

в) средняя смертельная концентрация в воздухе.

6. Какие виды воздействия вредных веществ относятся к отдаленным последствиям:

а) мутагенные; канцерогенные; влияющие на репродуктивную функцию;

б) мутагенные; сенсibiliзирующие; общетоксические;

в) канцерогенные; мутагенные; сенсibiliзирующие;

7. Механическая (искусственная) вентиляция бывает:

а) приточная; вытяжная;

б) приточная; приточно-вытяжная; местная;

в) вытяжной, приточной и приточно-вытяжной.

Вопросы для повторения

1. Классификация химических опасностей.
2. Классы опасности вредных веществ.
3. Отравление вредными веществами.
4. Специфическое действие вредных веществ.
5. Комбинированное действие вредных веществ.
6. Гигиеническое нормирование вредных веществ.
7. Этапы нормирования вредных веществ.
8. Принципы нормирования вредных веществ.
9. Промышленные яды, и их характеристика.
10. Токсическая классификация вредных веществ.
11. Основные свойства пыли.
12. Оценка вредности пыли.
13. Методы измерения концентрации пыли.
14. Методы очистки воздуха от пыли.
15. Обеспечение комфортных условий производственной среды.
16. Естественная вентиляция.
17. Искусственная вентиляция.
18. Местная вентиляция.

РАЗДЕЛ II ЗАЩИТА ОТ ШУМА И ВИБРАЦИЙ

2.1. Характеристика шума его воздействие на организм человека

Шум – это сочетание звуков, беспорядочно изменяющихся во времени в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц. Шум представляет собой сложные механические колебания частиц упругой среды. При прохождении звуковой волны в упругой среде создается дополнительное изменяющееся во времени давление, называемое звуковым давлением, которое воспринимается человеком как звук.

Количественной характеристикой звука является его интенсивность, т.е. энергия, переносимая звуковой волной в единицу времени перпендикулярно направлению движения волны. Между интенсивностью и звуковым давлением существует соотношение

$$I = p^2 / (\rho c), \quad (1)$$

где I - интенсивность звука, Вт/м²; p - звуковое давление, Па; ρ - плотность среды, кг/м³; c - скорость звука в среде, м/с.

В плоских звуковых волнах, характерных практически для всех случаев, рассматриваемых в технике, произведение ρc представляет собой волновое или акустическое сопротивление (акустический Ом). Чем больше волновое сопротивление среды, тем меньше звуковой энергии теряется при распространении в ней звуковых волн, т.е. тем больше интенсивность звука.

Скорость распространения звуковых волн изменяется в широких пределах в зависимости от плотности и упругости среды (табл. 12). В твердых телах скорость звука в несколько раз превышает скорость звука в газообразных средах.

Звуковое давление и интенсивность звука - это характеристики акустического поля в определенной точке пространства. Сам источник шума оценивается по звуковой мощности (Вт), представляющей собой величину звуковой энергии, излучаемой в единицу времени через замкнутую поверхность, окружающую источник звука:

$$P = IS, \quad (2)$$

где S - площадь замкнутой поверхности, окружающей источник звука ($S = 4\pi R^2$; R - расстояние от источника звука до приемника, м).

Таблица 12

Скорость звука, плотность в различных средах при 20 °С

Среда	с, м/с	$\rho, *10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$	Среда	с, м/с	$\rho, *10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$
Воздух	344	1,205	Железобетон	5100	2,6
Дистиллированная вода	1461	1,0	Стекло	4000	3,0
Алюминий	5105	2,71	Вулканизированная резина	54	0,92
Медь	3560	8,9	Дерево	3000	0,5
Сталь	4990	7,8	Пробка	480	0,24
Кирпич	3652	2,0	Ткани человека	1600	-

Звуковая мощность P наиболее полно характеризует любой источник звука. Величина звуковой мощности, а также интенсивность звука, являющиеся мерой его энергии, не могут быть непосредственно измерены с помощью приборов. Поэтому интенсивность звука и звуковую мощность; рассчитывают на основании результатов измерений звукового давления.

Значения звукового давления, воспринимаемые человеком, находятся в диапазоне от $2 \cdot 10^{-5}$ (порог слышимости) до $2 \cdot 10^2$ Па (болевого порог), отличаются примерно в 10^7 раз. Прямое измерение величин, меняющихся в столь широких пределах, практически неудобно. На практике принято оценивать акустические величины не в абсолютных числах, а в относительных уровнях, представляющих собой отношение измеренной величины к выбранной пороговой величине, принятой за эталон сравнения. В качестве пороговой величины звукового давления принято значение $2 \cdot 10^{-5}$ Па, интенсивности 10^{-12} Вт/м², звуковой мощности 10^{-12} Вт, что соответствует порогу восприятия слухом человека. Это отношение, выраженное в десятичных логарифмах, называется белом. На практике более удобной для вычисления единицей является десятая часть бела, т.е. децибел (дБ).

Следовательно, относительный уровень величины интенсивности звука

$$L_I = 10 \lg(I / I_0), \quad (3)$$

где I - абсолютное значение интенсивности звука, Вт/м²; I_0 - условный порог интенсивности звука, равный 10^{-12} Вт/м².

Подставляя в формулу (3) значение интенсивности по формуле (1), получаем выражение для определения относительного уровня (дБ) звукового давления:

$$L = 10 \lg \left(\frac{p^2 / \rho c}{p_0^2 / \rho c} \right) = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

где p - измеренное значение звукового давления, Па; p_0 - условный порог звукового давления, равный $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Шкала децибел удобна для практики, так как вмещает весь диапазон звуков, воспринимаемых слухом человека (от порога слышимости до болевого).

Таблица 13

Соотношение звуковых давлений, интенсивности и уровней звука

Звуковое давление, Па	$2 \cdot 10^2$	20	2	0,2
Интенсивность звука, Вт/м ²	10^2 - 10	$1 \cdot 10^{-1}$	10^{-2} - 10^{-3}	10^{-4} - 10^{-5}
Уровень звука, дБ	140-130	120-110	100-90	80-70
Звуковое давление, Па	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Интенсивность звука, Вт/м ²	10^{-6} - 10^{-7}	10^{-8} - 10^{-9}	10^{-10} - 10^{-11}	10^{-12}
Уровень звука, дБ	60-50	40	20-10	0

Уровень звуковой мощности (дБ) источника шума

$$L_p = 10 \lg(P/P_0), \quad (4)$$

где P - абсолютное значение звуковой мощности источника, Вт; P_0 - условно выбранный порог звуковой мощности, равный 10^{-12} Вт. Из формул (2) и (4) получаем:

$$L_p = 10 \lg(IS/I_0 S_0) = 10 \lg(I/I_0) + 10 \lg(S/S_0) = L + 10 \lg(S/S_0)$$

где L - уровень звукового давления, дБ; S - площадь замкнутой поверхности, окружающей источник, м²; S_0 - условно выбранная нулевая площадь, равная 1 м².

Суммарный уровень шума (дБ) от нескольких одинаковых источников в равноудаленной от них точке

$$L_{\Sigma} = L_1 + 10 \lg n,$$

где L_1 - уровень шума одного источника, дБ; n - число источников.

Значения поправок ($10 \lg n$) к уровню шума одного источника для суммирования уровней шума одинаковых источников следующие:

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	и более
$10 \lg n$	0	3	5	6	7	8	9	10	13	

При одновременном действии двух источников с различными уровнями шума суммарный уровень подсчитывается по формуле

$$L_{\Sigma} = L_1 + \Delta L,$$

где ΔL - поправка для суммирования (дБ) применяемая по следующим данным:

L_1-L_2 дБ	0	1	2	4	6	8	10	15	20
ΔL , дБ	3	2,5	2	1,5	1	0,6	0,4	0,2	0

Суммирование шума ряда неодинаковых источников производят последовательно, начиная с наиболее интенсивного источника шума. При разности шума двух источников, превышающих 10 дБ, шумом более слабого источника можно пренебречь, так как вклад последнего составляет менее 0,5 дБ.

Пример. При работе трех источников шума с $L_1=95$ дБ, $L_2=89$ дБ, $L_3=88$ дБ разность уровней составляет $L_1-L_2=6$ дБ, а поправка ΔL равна 1 дБ. Следовательно, суммарный уровень шума двух источников

$L_{\Sigma_1} = L_1 + \Delta L = 96$ дБ. Разность между L_{Σ_1} и L_3 составляет 8 дБ и

поправка $\Delta L=0,6$ дБ. Суммарный шум трех источников $L_{\Sigma_2} = L_{\Sigma_1} + \Delta L = 96+0,6=96,6$ дБ.

Чувствительность человеческого слуха к звуку зависит не только от его уровня, но и от частоты. Поэтому частотная характеристика источников – одна из важнейших при исследовании причин повышенного шума. Изображение состава шума в зависимости от частоты в виде графика-спектра определяет собой распределение колебательной энергии по звуковому диапазону частот. В практике акустических расчетов весь диапазон частот, воспринимаемых человеком (от 20 до 20000 Гц), разделен на октавные полосы, каждая из которых представляет собой полосу частот, в которой верхняя граничная частота больше нижней в 2 раза (20-40, 40-80, 80-160 Гц и т.д.). Для изучения частотного состава шума анализируют спектры по октавам. При этом для точного выявления частоты, на которой создается шум максимальной интенсивности, осуществляют анализ в полуоктавном и третьоктавном диапазоне частот той октавы, где выявлен наибольший шум. Для полуоктавной полосы частот отношение граничных частот равно 1,4, а для третьоктавной - 2,26. Для удобства расчетов и измерений результаты частотного анализа принято относить к среднегеометрическим частотам октавных полос:

$$f = \sqrt{f_B \cdot f_H} = \sqrt{2} f_H = 1.41 f_H$$

где f_B и f_H - верхняя и нижняя граничная частота октавы, Гц.

Спектры шума подразделяют на низкочастотные с максимумом звукового давления в диапазоне частот ниже 400 Гц, среднечастотные (400-1000 Гц) и высокочастотные (превышающие 1000 Гц).

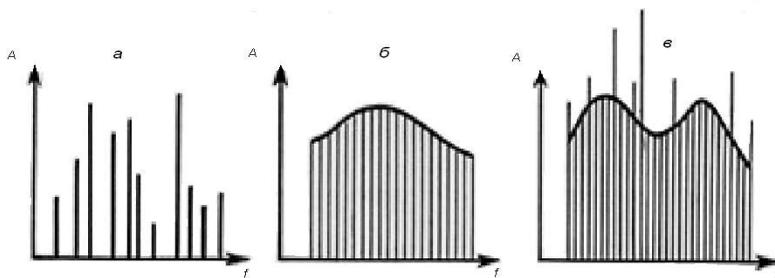


Рис. 15. Типы спектров шума: а – линейный; б – непрерывный; в – смешанный

Спектры могут быть линейчатыми, непрерывными или смешанными. Линейчатые спектры присущи отдельным источникам (генераторы, сирены и др.). Они имеют максимум энергии на отдельных частотах. В отличие от них механические и ударные шумы, характерные для обогатительных машин, имеют смешанный или сплошной широкополосный спектр.

Интенсивность звука и звуковое давление объективно характеризуют физический процесс распространения звуковых волн, в то время как слух человека субъективен и воспринимает громкость звука. Одно и то же звуковое давление воспринимается человеком по-разному в зависимости от частоты. Наиболее чувствителен слух человека к звукам с частотой 1000 Гц. Например, звук с частотой 200 Гц и звуковым давлением $2 \cdot 10^{-3}$ Па вызывает такое же субъективное ощущение, как звук с частотой 1000 Гц и звуковым давлением $2 \cdot 10^{-5}$ Па. Поэтому для правильной оценки звукового восприятия введено понятие «уровень громкости», который определяется путем субъективного сравнения громкости слышимого звука с эталонным звуком частотой 1000 Гц таким образом, чтобы их субъективная громкость была одинаковой.

В основе построения шкалы уровней громкости лежит закон Вебера, в соответствии с которым чувствительность слуха человека пропорциональна логарифму интенсивности звука. В качестве единицы уровня громкости принят фон, представляющий собой разность уровней интенсивности, равную 1 дБ слышимого звука и эталонного звука частотой 1000 Гц при звуковом давлении $2 \cdot 10^{-5}$ Па. На рис. 16 приведены графики зависимости между уровнями звукового давления и уровнями громкости. В пределах 20-120 фон (диапазон слышимости) изменение громкости в 2 раза приблизительно равно изменению уровня звука на 10 дБ.

Для непосредственного измерения громкости шума нет специальных приборов. С достаточной степенью точности уровень громкости определяется на основании измеренных уровней звукового давления с учетом ниже приведенных корректирующих поправок, соответствующих неодинаковой чувствительности человеческого слуха к звукам разной частоты:

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Поправка к уровням звукового давления, Дб	-39,2	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

По временным характеристикам шум подразделяется на постоянный и непостоянный (колеблющийся во времени, прерывистый, импульсный).

Постоянным считается шум, уровень которого за восьмичасовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5 дБА, непостоянным — более чем на 5 дБА. ГОСТ 12.1.003—83 устанавливает предельно-допустимые условия постоянного шума на рабочих местах, при которых шум, действуя на работающего в течение восьмичасового рабочего дня, не приносит вреда здоровью. Нормирование ведется в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Таблица 14

Граничные и среднегеометрические частоты (Гц) октавных и третьоктавных полос

Граничные для полос		Среднегеометрические для полос	
октавных	третьоктавных	октавных	третьоктавных
1	2	3	4
45-90	45-56 56-71 71-90	63	50 63 80
90-180	90-112 112-140 140-180	125	100 125 160
180-355	180-224 224-280 280-355	250	200 250 315
355-710	355-450 450-560 560-710	500	400 500 630
710-1400	710-900 900-1120 1120-1400	1000	800 1000 1250
1400-2800	1400-1800 1800-2240 2240-2800	2000	1600 2000 2500

1	2	3	4
2800-5600	2800-3540 3540-4500 4500-5600	4000	3150 4000 5000
5600-11200	5600-7100 7100-9000 9000-11200	8000	6300 8000 10000

Измеренные на среднегеометрических частотах уровни звукового давления корректируют с учетом приведенных поправок и полученные значения суммируют по закону акустического сложения. Суммарная величина представляет собой интегральное значение уровня звука, соответствующее слышимому уровню громкости.

Пример. По данным измерений получены уровни звукового давления, равные 101; 99; 98; 89; 87; 86; 80; 76 дБ соответственно на среднегеометрических частотах 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц. Величина уровня звука, которая эквивалентна уровню громкости, рассчитывается следующим образом.

Из значений уровня звукового давления вычитают поправки к уровням звукового давления (см. выше). В результате получают следующие величины: 74,8; 89,9; 89,4; 85,8; 87; 81; 74,9 дБ, которые далее следует сложить по закону акустического сложения.

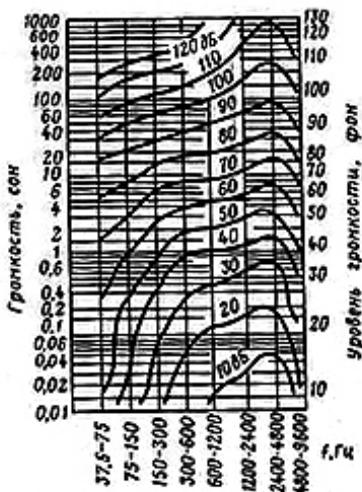


Рис. 16 Зависимости между громкостью, уровнем громкости, уровнями звукового давления и частотой

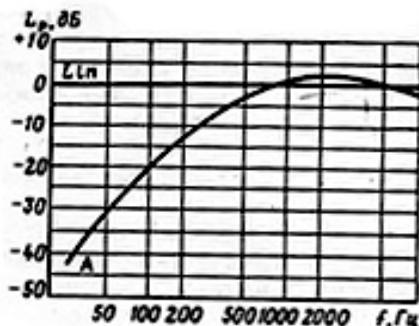


Рис. 17 Частотные характеристики корректирующих фильтров шумомеров: А – скорректированные с учётом чувствительности слуха человека; Lin – соответствующая объективному изменению звука

Сложение производят последовательно в несколько этапов. Вначале находят разность между двумя наиболее высокими значениями. В данном случае разность между 89,4 и 87 дБ составляет 2,4 дБ, что соответствует поправке, равной 2 дБ, которая должна быть прибавлена к наибольшей из складываемых величин. Таким образом, при сложении уровней звукового давления 89,4 и 87 дБ получают 91,4 дБ. Далее складывают величину 91,4 дБ со следующим наиболее высоким значением, которое равно 87 дБ. Разность 4,4 дБ соответствует поправке, равная 1,5 дБ, которая прибавляется к величине 91,4 дБ. Полученная сумма составляет $92,9 \approx 93$ дБ. В такой же последовательности суммируют другие уровни звукового давления. В результате сложения всех величин с точностью до 0,5 дБ с учетом поправок получается уровень звука 94 дБА, который соответствует уровню громкости 94 фон.

Криворожским институтом гигиены труда и профзаболеваний установлено, что у рабочих шумных предприятий порог слуховой чувствительности к концу рабочей смены повышается на 7-13 дБ. Частота заболеваний среди рабочих шумных предприятий в 2,9 раза больше, чем для рабочих малозумных отделений, а число дней нетрудоспособности в 3,2 раза больше [8,6]. Неудовлетворительная слышимость, снижение концентрации внимания, притупление реакции являются косвенными причинами производственного травматизма, особенно при обслуживании потенциально травмоопасного оборудования. Специальные исследования показали, что около 10% несчастных случаев на обогатительных фабриках происходят из-за снижения внимания и утомления, особенно на рабочих местах и в зонах обслуживания шумного оборудования.

Безаварийная работа обогатительного оборудования, а также качество продукции в значительной степени зависят от внимания,

быстроты реакции работающих, которые, как показано, резко снижаются под действием длительного воздействия шума. Следовательно, интенсивный шум является косвенной причиной снижения качества продукции фабрик и производительности труда рабочих.

2.2. Источник шума в производственных помещениях

В производственных помещениях сконцентрированы разнообразные машины и оборудование, являющиеся источниками интенсивного шума. Кроме того, в некоторых производственных помещениях, оборудование устанавливается в зданиях зального и антресольно-павильонного типов, что приводит к акустической связи практически всех рабочих мест. Звуковые волны распространяются от источника во все стороны помещения в виде прямого звука и, отражаясь от ограждающих поверхностей, усиливают прямой звук. Часть звуковой энергии проникает через стены и распространяется в виде поперечных волн на большие расстояния с переизлучением в воздух в смежных помещениях.

Вибрация машин передается через фундамент конструкциям здания и, распространяясь в них, переходит на звуковых частотах в структурный шум, величина которого пропорциональна излучающей поверхности.

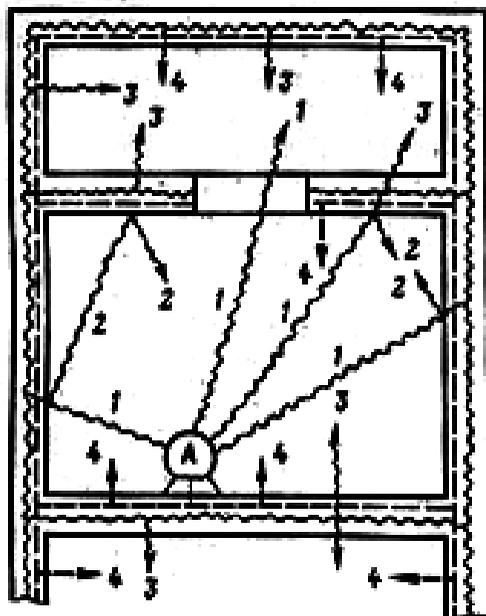


Рис. 18 Принципиальная схема распространения звука (1-4) от жестко-установленного источника в замкнутом помещении

В результате сложения прямого, отраженного и структурного звуков в помещении фабрик при одновременной работе многочисленного оборудования создается сложное звуковое поле. Уровни звука и уровни звукового давления на рабочих местах обусловлены акустической мощностью отдельных машин, режимом их работы, акустическими свойствами помещения, техническим состоянием машин, условиями монтажа и другими факторами. Каждый из этих факторов изменяется в достаточно широких пределах.

Многочисленные источники шума от оборудования можно условно разделить на несколько групп.

I. Прямой звук:

ударный (бункера, узлы самотечного транспорта, дробилки, мельницы);

механический (редукторы, цепные и ременные передачи привода машин, узлы оборудования вибрационного действия - грохоты, вибропитатели);

аэродинамический, гидродинамический (вентиляторы, воздуходувки, вакуум-насосы, вакуум-фильтры, ресиверы, пульсаторы отсадочных машин, трубопроводы);

электромагнитный (электродвигатели, генераторы, трансформаторы, электромагнитные сепараторы).

II. Структурный звук (металлоконструкции, строительные конструкции).

III. Отраженный звук (внутренние поверхности помещений, поверхность машины и оборудования).

Условность такого деления связана с тем, что в большинстве машин находятся одновременно несколько источников шума (например, электродвигатели и генераторы одновременно производят электромагнитный, аэродинамический и механический виды шумов). Такое разделение по доминирующим источникам помогает разрабатывать комплекс мероприятий по снижению шума машин. Уровни звука, измеренные на расстоянии 1 м от различных источников шума обогатительных фабрик, следующие, дБ: мельницы - 99-113; дробилки - 87-108; самотечный транспорт - 93-110; редукторы - 96-102; грохоты - 90-100; вибропитатели - 88-98; вентиляторы, воздуходувки - 91-106; вакуум-фильтры, насосы - 84-95; отсадочные машины - 84-94; электродвигатели - 84-98; трансформаторы, электромагнитные сепараторы - 76-86.

Анализ этих значений показывает, что уровень звука большинства машин и оборудования составляет 80-110 дБА, т.е. механизмы относят к источникам звука высокой интенсивности. При этом в зависимости условий работы уровни звука одних и тех же машин отличаются 8-10 дБА.

Интенсивный шум от источников ударного шума в основном обусловлен ударами кусков обогащаемого материала друг о друга и о металлические стенки узлов самотечного транспорта, бункеров, сит грохотов. В дробилках источниками ударного шума является шум, возникающий при разрушении дробимого материала. При ударах шум характеризуется широкополосным спектром, ширина спектра определяется из соотношения $\Delta f \approx 1/\tau$, где τ - продолжительность ударов, с.

Величина τ , по данным исследований, составляет для металлических конструкций машин около 0,0001 с, поэтому $\Delta f = 10^4$ Гц, т.е. охватывает весь нормируемый диапазон частот. В результате увеличения времени удара τ происходит сжатие спектра создаваемых колебаний, большая часть энергии переходит в область низких частот, т.е. шум снижается на высоких и средних частотах, что воспринимается слухом как снижение уровня громкости. Следовательно, основным

направлением снижения ударного шума является изыскание средств и методов для увеличения времени удара, например за счет применения материалов с большим модулем упругости (резина, пластик и т.д.).

Группу источников механического шума составляют практически все приводы машин, а также машины вибрационного действия (грохоты, вибропитатели и др.), шум которых обусловлен вибрацией поверхностей, упругими деформациями, неуравновешенностью и недостаточной балансировкой узлов, неточностью изготовления деталей. Особую роль в создании шума приводов машин играют подшипниковые узлы и зубчатые передачи.

Основными причинами возникновения шума являются деформации сопрягаемых зубьев под действием передаваемой нагрузки и динамические процессы в зацеплении, обусловленные неточностью, допущенной при изготовлении зубчатых колес. Даже небольшое отклонение в точности изготовления профиля зубчатых колес вызывает ударные нагрузки, которые через валы и подшипниковые узлы передаются корпусам редукторов, вызывая в них упругие колебания. Излучаемая при этом энергия определяется величинами действующих сил, частотным составом, конструкцией и режимом работы механизма. Из-за большой поверхности, например в узлах грохотов, возбуждаются изгибные волны, которые усиливают генерируемый шум пропорционально излучаемой поверхности. При этом низкочастотные шумы и вибрации вызываются силами инерции и силами трения, а высокочастотные шумы обусловлены ударными нагрузками в соединениях, имеющих зазоры.

Мощность (Вт), генерируемая колеблющимися поверхностями машин, "зависит от формы колебаний, размеров поверхности и в общем случае выражается формулой [8]

$$P = \rho c S v_k^2 \varphi$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м³; c - скорость звука в воздухе, м/с; S - площадь излучающей поверхности, м²; v_k - усредненная по поверхности эффективная колебательная скорость, м/с; φ - коэффициент излучения, характеризующий способность колеблющейся поверхности излучать шум ($\varphi=1$ на частотах $f > 400/a$, a - характерный размер машины).

При большом числе источников, что имеет место в машинах, общая мощность складывается из мощности отдельных источников:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i v_k^2$$

где $R_i = \rho c S \varphi$

Следовательно, снижение шума редукторов, узлов привода, а также машин вибрационного действия может быть осуществлено в результате повышения точности изготовления и сборки деталей, уменьшения площади колебаний и применения средств и методов снижения коэффициентов звукоизлучения деталей.

Группу источников аэродинамического и гидродинамического шума, для которых характерен максимум звуковой энергии в диапазоне частот 800-4000 Гц, составляют выхлопы пульсаторов отсадочных машин, воздуходувок, вакуум-фильтры, насосы, вентиляторы и др. В этих машинах шум обусловлен турбулентными пульсациями скорости потока воздуха и воды. Шум возникает при истечении сжатого воздуха и газа из отверстий (выпуск отработанного воздуха), пульсации давления в трубопроводах.

Группу источников прямого звука представляют также источники электромагнитного излучения, шум которых обусловлен в основном периодическими силами, возникающими от взаимодействия высших гармоник магнитных полей в воздушном зазоре между статором и ротором электрических машин или трансформаторов. К этим источникам следует отнести трансформаторы, электродвигатели, электромагнитные сепараторы, электровибропитатели и др.

Звуковая энергия, излучаемая источниками в виде воздушного шума, распространяется во все стороны. Часть ее отражается от отражающих поверхностей и создает внутри помещения реверберационное поле. Другая часть, в зависимости от степени отражения стен, проходит наружу или в другое помещение через стены и проемы. В результате многократного отражения звука в замкнутом помещении создается звуковое поле, близкое к диффузному, уровень звукового давления которого по сравнению со свободным звуковым полем выше на 5-10 дБ. Это приводит к дополнительному возрастанию уровня шума в зонах обслуживания машин. Величина этого превышения зависит от формы помещения, его объема, материала строительных конструкций, расположения машин и оборудования.

Неточная сборка и недостаточная балансировка деталей машин, особенно вибрационного действия центробежных, а также недостаточная виброизоляция и неудовлетворительный монтаж приводят к возникновению переменных динамических нагрузок, передающихся на строительные конструкции.

Причиной возникновения колебаний рабочих площадок, а следовательно, и строительных конструкций является также жесткий контакт последних с вибрирующими частями оборудования, например с отсадочными машинами. Площадки их обслуживания, как правило, опираются на уголки, приваренные к корпусу машин, а сливные желоба

жестко крепятся к металлическим балкам, на которые уложены площадки. То же имеет место для площадок сепараторов, флотационных машин, элеваторов, скребковых конвейеров. Значительные динамические нагрузки передаются на конструкции зданий и при работе грохотов, дробилок.

В результате переменных динамических нагрузок в металлических и железобетонных конструкциях производственных зданий на резонансных частотах возбуждаются колебания и в виде звуковой энергии передаются в помещение. За счет жесткой связи элементов конструкции эти колебания передаются по всему объему здания.

В твердых телах (бетоне, металлоконструкциях) звук распространяется в виде плоских или изгибных волн и с незначительными потерями расходитя во все стороны на значительные расстояния. Поэтому, если воздушный звук проникает в такую стену с небольшой степенью звукопоглощения, она сама становится источником шума, звуковая мощность которого зависит от интенсивности проходящей волны и от площади стены. Так, стена площадью 10 м^2 будет излучать на 3 дБ больше звука, чем стена площадью 5 м^2 . Таким образом, шумовая обстановка в производственных помещениях фабрик зависит от большого числа взаимосвязанных факторов.

Несмотря на условность приведенной выше классификации источников шума, она помогает определить как направление работ по снижению шума отдельных видов оборудования, так и меры по уменьшению воздействия шума на обслуживающий персонал обогатительных фабрик в соответствии с основными требованиями ГОСТ 12.1.029-80.

2.3. Определение шумовых характеристик машин

В комплексе работ по снижению шума машин первостепенным является определение шумовых характеристик конкретных видов машин и оборудования и установление на них технических норм для объективной оценки шума машин с целью определения их конструктивного совершенства и качества изготовления. Объективные шумовые характеристики машин требуются для проектных организаций при проведении расчета шумового режима в производственных помещениях фабрик.

Объективный технический показатель шума машин при регламентированных режимах работы – шумовая характеристика. Шумность машины определяется в уровнях звуковой мощности, которая в отличие от уровня звукового давления не зависит от расстояния до

машины, акустических свойств помещения и является величиной, характеризующей саму машину. Звуковая мощность определяется на всех среднегеометрических частотах октавных полос. Для упрощения измерений пользуются также обобщенной характеристикой звуковой мощности с учетом особенностей восприятия шума человеком (см. гл. I, § 3). Такая характеристика называется скорректированный уровень звуковой мощности и в отличие от октавных уровней на всех частотах определяется одной цифрой, выраженной в дБ по шкале «А» (дБА). Таким образом, определение звуковой мощности производится путем расчета на основании либо измерений уровней звукового давления на среднегеометрических частотах октавных полос, либо измерений уровней звука в дБ по шкале «А» (дБА) на определенной регламентированной стандартом измерительной поверхности, окружающей машину.

В настоящее время введены стандарты (ГОСТ 12.1.024-81; ГОСТ 12.1.025-81; ГОСТ 12.1.026-80; ГОСТ 12.1.027-80, ГОСТ 12.1.028-80), которыми установлены методы измерения шумовых характеристик источников шума, распространяющиеся на все машины и технологическое оборудование, создающее в воздушной среде все виды шумов. Шумовые характеристики регламентированы как по частотному составу, так и по временным характеристикам. Стандарты предусматривают проведение измерений шумовых характеристик машин в заглушенной камере, реверберационной камере, свободном звуковом поле и производственных помещениях на расстоянии 1 м от контура машины.

Шумовые характеристики определяют при типовых испытаниях опытных образцов, а также при аттестационных, государственных, междуведомственных, периодических, предварительных и приемодаточных испытаниях.

Характерная особенность большинства обогатительных машин – их большие габаритные размеры. Кроме того, зачастую в заводских условиях машины полностью не собираются, а устанавливаются на обогатительных фабриках группами в виде технологических узлов и работают одновременно с другими машинами, что исключает возможность включения отдельной машины в режиме технологической нагрузки. Поэтому измерение шума одной машины зачастую практически невозможно.

Особенностью обслуживания обогатительного оборудования является также отсутствие постоянных рабочих мест и нахождение рабочих в зонах с различной интенсивностью звука около работающей машины. Поэтому для обогатительных машин точное измерение шумовых характеристик в специальных заглушенных камерах, реверберационных

камерах невозможно. Наиболее приемлемым является ориентировочный метод измерения шума машин согласно ГОСТ 12.1.028-80.

Методы и условия определения шумовых характеристик обогатительных машин с учетом особенностей их работы установлены в соответствии с указанными ГОСТ 12.1.028-80 и ГОСТ 12.1.003-76 специальным документом РТМ 24.080.39-78 (руководящим техническим материалом). Измерение шумовых характеристик производят ориентировочным методом на расстоянии 1 м от наружного контура машины. Точки измерений располагают на измерительной поверхности, которая представляет собой условную поверхность, окружающую источник шума.

В качестве измерительной принимается поверхность, которая расположена на расстоянии 1 м от контура источника шума, причем узлы, не создающие шум, не учитываются.

Для машин, которые имеют габаритные размеры более 5 м (конвейеро-спиральные классификаторы, отсадочные машины), в наружный контур включают только узлы, излучающие интенсивный шум. Число точек измерения должно быть не менее 5 и они должны быть расположены на измерительной поверхности так, чтобы разность в уровне шума в соседних точках не превышала 8 дБ. Если разность уровней шума превышает 8 дБ следует принимать 8 точек измерений (рис. 32).

Характерные размеры измерительной поверхности вычисляют по формулам:

$$a=0,5l_1+d; b=0,5l_2+d; c=l_3+d,$$

где l_1, l_2, l_3 – основные габаритные размеры (длина, ширина, высота) машины, м; $d=1$ м – расстояние от наружного контура машины до измерительной поверхности.

Площадь (m^2) измерительной поверхности

$$S=4 \cdot (ab+ac+bc)(a+b+c)/(a+b+c+2d).$$

Средний уровень звукового давления L_m (дБ) в полосах частот или средний уровень звука $L_{m\Lambda}$ (дБА) на измерительной поверхности вычисляют по формуле

$$L_m = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right) - K$$

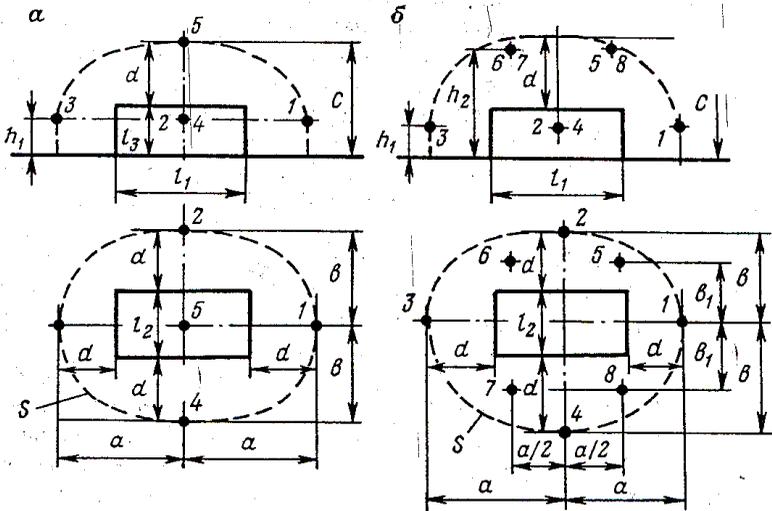


Рис. 19 Схемы расположения пяти (а) и восьми (б) точек для определения шумовых характеристик машин, где L_1 – уровень звукового давления в полосе частот (дБ) или уровень звука (дБА) в 1-й точке измерений; n – число точек измерений на измерительной поверхности; K – постоянная величина, учитывающая влияние отраженного звука в полосе частот (дБ) или уровня звука (дБА), определенная в помещении фабрики.

Постоянная величина K определяется методом образцового источника по ГОСТ 12.1.026-80 или формуле

$$K = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{S}{A} \left(1 - \frac{A}{S} \right) \right],$$

где S – площадь выбранной измерительной поверхности, m^2 ; A – эквивалентная площадь звукопоглощения, m^2 .

Эквивалентная площадь звукопоглощения приближенно вычисляется по формуле

$$A = \alpha_s S_g,$$

где S_g – площадь ограждающих поверхностей в помещении, включая пол и потолок, m^2 ; α_s – средний коэффициент звукопоглощения, зависящий от вида помещений (для производственных помещений принят равным 0,15).

Величину K можно также определить по номограмме (рис. 33) в зависимости от отношения S/S_g с учетом среднего коэффициента звукопоглощения α_s .

Обычно на практике значения уровней звукового давления в соседних точках измерения не превышают 5 дБ. В этом случае средний уровень звукового давления определяют как среднее арифметическое зафиксированных значений:

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i - K.$$

После определения среднего уровня звукового давления в данной полосе частот или уровня звука вычисляют уровень звуковой мощности в полосе частот L_p (дБ), или скорректированный уровень звуковой мощности L_{pA} (дБА) по формуле

$$L_p(L_{pA}) = L_m(L_{mA}) + 10 \lg \frac{S}{S_0},$$

где $S_0 = 1 \text{ м}^2$

Для измерений уровней звукового давления и уровней звука применяют шумомеры 1-го или 2-го класса по ГОСТ 17187—81 с полосовыми электрическими фильтрами по ГОСТ 17168—82.

При измерениях необходимо учитывать шум помех от аэродинамических потоков вблизи микрофона, влияние электрических или магнитных полей. Допускается не учитывать шум помех, если он на 10 дБ (дБА) ниже уровня шума, измеренного при включении источника шума. Если разность между уровнем шума машины и уровнем помех ΔL менее чем 3 дБ, проводить измерение параметров шума машин нельзя, необходимо принять меры для устранения помех.

Если разность $\Delta L \geq 3$ дБ (дБА), для учета помех следует из измеренного уровня шума вычесть значение следующей поправки Δ :

ΔL , дБ (дБА)	3.....	4-5	6-8	9-10
Δ , дБ (дБА)	3.....	2	1	0,5

Результаты измерений шумовых характеристик машин оформляют в виде протокола, в котором указывается цель, время, место и условия проведения измерений, описание помещения и установки в нем машины, режим работы машины, влияние помех, класс точности измерений, данные измерений в виде таблиц, в которых приводят уровни звука и октавные уровни звукового давления для всех измеренных точек, вычисленные средние уровни звуковой мощности в дБ, скорректированный уровень звуковой мощности в дБА.

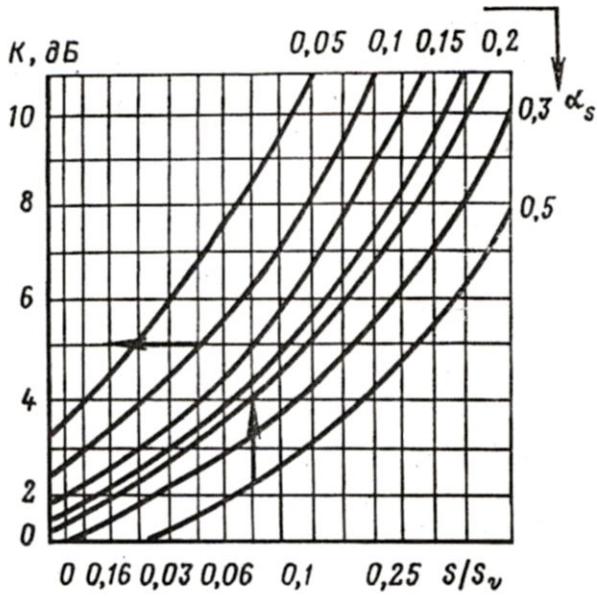


Рис. 20 Номограмма для определения постоянной K в помещении

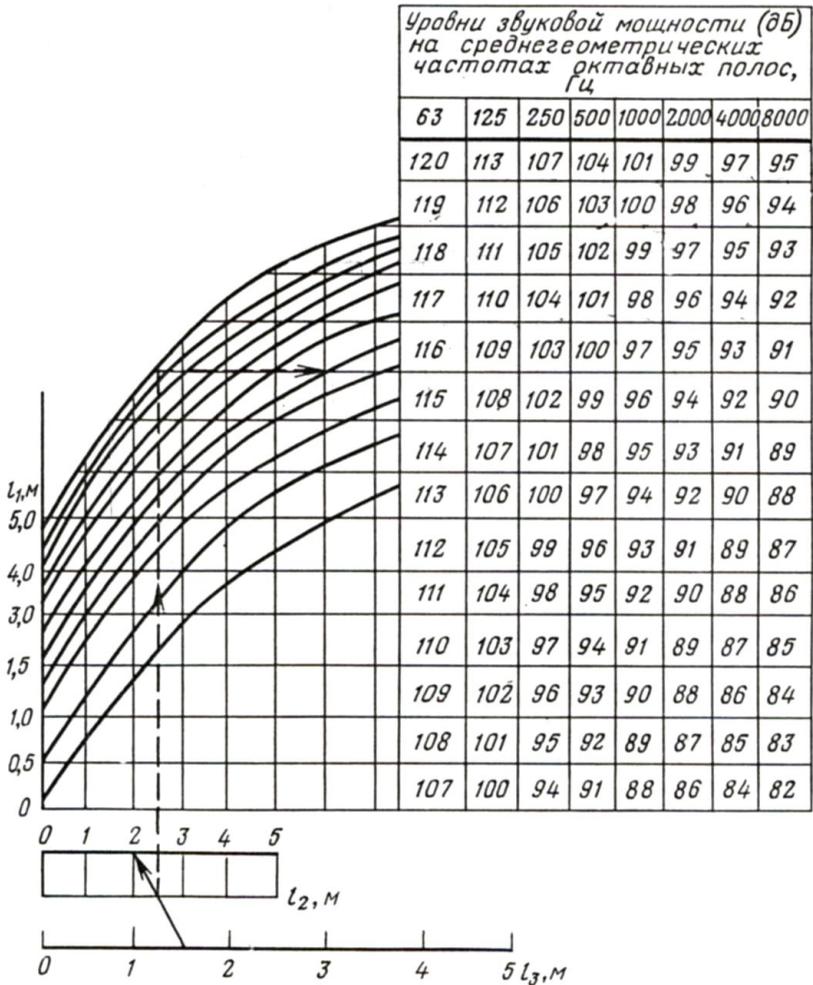


Рис. 21 Номограмма для определения величины предельно допустимой шумовой характеристики машины (ПДШХ)

Определение шумовых характеристик машин, которые собираются и испытываются на заводах, проводят при их работе без технологической нагрузки в режиме, предусмотренном приемо-сдаточными испытаниями. Определение шумовых характеристик машин, которые не испытываются на заводе-изготовителе, проводят в условиях эксплуатации при отключенном остальном оборудовании в режиме холостого хода.

При этом должны быть включены комплектующие машину устройства и приборы. Испытания флотационных машин, тяжелосредних сепараторов, вакуум-фильтров, отсадочных машин, спиральных классификаторов и другого аналогичного оборудования проводят при залитых водой камерах.

Для получения представительных значений измеряют шум не менее трех машин данного типа. Полученную таким образом шумовую характеристику вносят в стандарты, технические условия и другую техническую документацию в раздел «Требования безопасности», занося как уровни звуковой мощности на среднегеометрических частотах в дБ, так и скорректированный уровень звуковой мощности в дБА.

После определения уровня звуковой мощности машины необходимо провести сравнение полученных значений с предельно допустимыми уровнями звуковой мощности, которые обеспечат на рабочих местах фабрики соблюдение норм шума, регламентированных стандартом.

Предельно допустимую шумовую характеристику звуковой мощности (ПДШХ) рассчитывают по формуле

$$L_p = L_i + 10 \lg \frac{S}{S_0} - \Delta L,$$

где L_i – предельно допустимый уровень звукового давления в i -й октаве, установленный для рабочих мест по ГОСТ 12.1.003—76; ΔL – поправка, учитывающая групповую установку машины и влияние технологической нагрузки (принимается равной 5 дБ).

Для машин, габариты (длина l_1 , ширина l_2 , высота l_3) которых не превышают 5х5х5 м, величина ПДШХ без учета поправки ΔL может быть ориентировочно определена по номограмме (рис. 34). Для определения значений ПДШХ соединяют линией точки, соответствующие значениям высоты машины и ее ширины. Из точки пересечения с линией отсчета восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей длине машины. Искомое значение находят на уровне точки пересечения длины с соответствующим уровнем звуковой мощности на среднегеометрических частотах октавных полос без учета поправки на групповую установку и технологическую нагрузку.

Если полученные при измерениях значения шумовой характеристики машины не превышают величины уровней предельно допустимой шумовой характеристики, данная машина удовлетворяет требованиям стандартов. Если значения шумовой характеристики машины превышают величины уровней предельно допустимой шумовой характеристики, рассчитанных по формуле (2) или определенных по номограмме, тогда эта характеристика может считаться технически

достижимой при условии дальнейшей разработки и внедрении мероприятий по снижению шума.

В этом случае указывается срок ее действия, который составляет для стандартов 3 года, для технических условий 2 года. За этот период организация, разработавшая данную конструкцию машины, должна провести все необходимые работы по снижению шумовых характеристик до их предельно допустимых значений.

Пример 1. Требуется определить значения ПДШХ для машины с габаритами: длина $l_1=5$ м, ширина $l_2=2,5$ м, высота $l_3=1,5$ м. На рис. 21 пунктиром показана схема определения искомых величин, которые на среднегеометрических частотах октавных полос 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц соответственно равны 116, 109, 103, 100, 97, 95, 93, 91 дБ. Значения ПДШХ с учетом поправки $\Delta L=5$ дБ соответственно равны 111, 104, 98, 95, 92, 90, 88, 86 дБ. Полученные величины представляют собой предельно допустимые шумовые характеристики машины данных габаритов, с которыми необходимо сравнивать шумовые характеристики, замеренные в условиях завода или на фабрике в режиме холостого хода.

Пример 2. Для машины с габаритами: $l_1=12$ м, $l_2=3$ м, $l_3=6$ м производится расчет ПДШХ. Для этого определяют значения a , b , c :

$$a=(l_1/2)+1=(12/2)+1=7 \text{ м}; \quad b=(l_2/2)+1=(3/2)+1=2,5 \text{ м}; \\ c=l_3+1=6+1=7 \text{ м}.$$

По полученным значениям рассчитывают величину

$$S=4 \{ab+ac+bc\} \cdot (ab+c)/(a+b+c+2d)= \\ = 4(7 \cdot 2,5+7 \cdot 7+2,5 \cdot 7)(7+2,5+7)/(7+2,5+7 \cdot 2)=26,8 \text{ м}^2.$$

Далее подставляют в формулу ПДШХ значение $10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right)$, равное

24 дБ, поправку $\Delta L=5$ дБ и значения предельно допустимых уровней звукового давления для рабочих мест согласно ГОСТ 12.1.003—76.

На основании расчетов получают значения уровней звуковой мощности на среднегеометрических частотах октавных полос, которые соответственно равны 123, 116, 110, 107, 104, 102, 100, 98 дБ.

Полученные значения являются предельно допустимыми величинами шума для машины данных габаритов, с которыми необходимо сравнивать уровни звуковой мощности, рассчитанные на основании измеренных значений уровней звукового давления.

2.4. Определение параметров шума на рабочих местах

Определение шума на рабочих местах обогатительных фабрик производят с целью установления фактических его уровней и сравнения

их с требованиями стандарта, выявления рабочих мест и зон с повышенным уровнем шума и определения величины его превышения, а также получения исходных данных для разработки мероприятий по улучшению условий труда и оценки эффективности данных мероприятий.

Методика измерений параметров шума в производственных помещениях регламентирована ГОСТ 12.1.050-86 (2001).

Основными показателями, характеризующими шумовую обстановку на рабочих местах, являются: уровни звукового давления на среднегеометрических частотах октавных полос (дБ); уровни звука (дБА); эквивалентные уровни звука (дБА), а также изменение спада звукового давления при удалении от источника шума или время реверберации, характеризующие акустические свойства помещения.

Для определения перечисленных параметров и в зависимости от целей измерений применяют измерительную аппаратуру, включенную по одной из блок-схем. Для измерения уровней шума применяют шумомеры различных типов, основным элементом которых является усилитель звуковых частот. Он снабжен стрелочным гальванометром, проградуированным в диапазоне уровней звукового давления от 20 до 140 дБ. В качестве приемника звуковых сигналов применяются электродинамические угольные, конденсаторные и пьезоэлектрические микрофоны. Изменение звукового давления приводит к колебаниям мембраны, которые после усиления в шумомере фиксируются гальванометром.

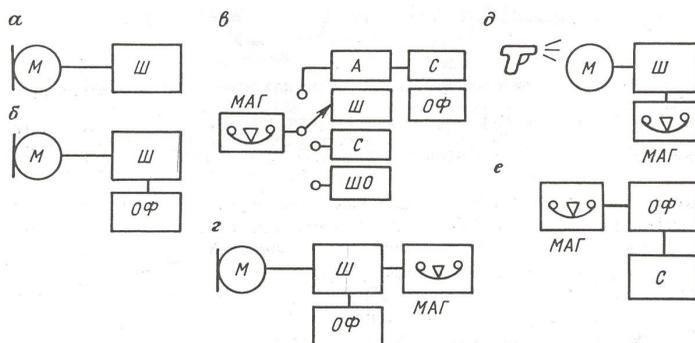


Рис. 22 Блок-схемы измерительных трактов для определения параметров шума: а – общего уровня звука по шкале «А»; б – уровня звукового давления на среднегеометрических частотах; в – с одновременной записью на ленту магнитофона; г – для спектрального анализа звука в лабораторных условиях; д, е – для записи и расшифровки времени спада звука с целью определения времени реверберации; М – измерительный микрофон; Ш – шумомер; ОФ – октавный фильтр; МАГ – измерительный магнитофон; А – анализатор звука; ШО – шлейфовый осциллограф; С – самописец уровня

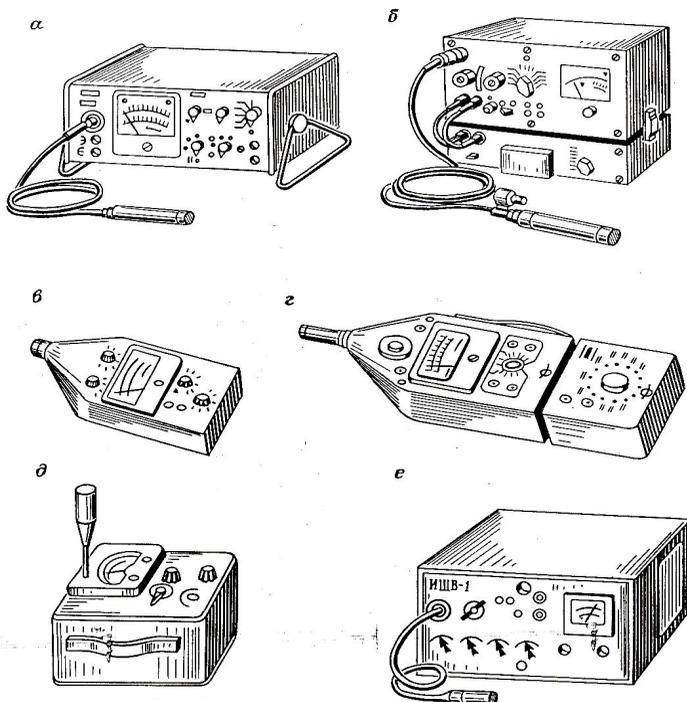


Рис. 23 Общий вид приборов отдельных типов для измерения параметров шум и вибрации: а – шумомер 00017 (фирма «RFT», ГДР); б – шумомер PSI-202 с OF-101 (фирма «RFT», ГДР); в – шумомер PSI (фирма «RFT», ГДР); г – комплект типа 2204 (фирма «Брюль и Кьер», Дания); д – шумомер Ш-63 (СССР); е – прибор для измерения шума и вибрации ИШВ-1 (СССР)

В современных шумомерах наибольшее распространение получили конденсаторные микрофоны диаметром 25; 12; 6,5; 5 и 3 мм, имеющие линейные частотные характеристики в диапазоне частот от 1,5 Гц до 200 кГц при температуре от -50 до $+150$ °С. Основные преимущества конденсаторных микрофонов – нечувствительность их работы к изменению влажности и температуры, а также широкий динамический диапазон измерений.

На рис. 23 показан общий вид наиболее распространенных шумомеров и акустических комплектов, выпускаемых в РФ и за рубежом. По показаниям шумомеров оцениваются уровни звука, уровни звукового давления, а также проводится спектральный анализ шума. Для измерения уровней звука включается характеристика шумомера по шкале «А», что

позволяет получить значение уровня шума, соответствующее уровню громкости, т.е. примерно соответствующее восприятию слуха человека.

Импульсные шумы измеряют при включении шумомера на диапазон «импульс». Для этого применяют шумомеры PSI-202, 00017 фирмы «RFT» и типа 2204 фирмы «Брюль и Кьер». Октавный частотный анализ изучаемых шумов выполняют с помощью специальных электрических фильтров, подключаемых к шумомерам или входящих в его корпус. Подробный частный анализ шума производят с помощью узкополосных анализаторов с перестраиваемой шириной полосы частот и непрерывной настройкой в частотном диапазоне. Такие измерения проводят с помощью анализатора спектров звуковых частот (АСЗЧ).

Запись эффективных, среднеарифметических и пиковых значений параметров шума, в том числе регистрацию спектрограмм и осциллограмм уровней звукового давления, осуществляют с помощью самописцев уровней.

Для подробного анализа и обработки результатов используют многоканальные измерительные магнитофоны с линейной частотной характеристикой в диапазоне от 0 до 20 кГц.

Калибровка акустической аппаратуры осуществляется пистонфонами различного типа, представляющими собой эталонные источники звука.

Перед проведением акустических измерений, а также в их процессе выявляют и контролируют влияние шумового фона и случайных помех, для чего измеряют уровень помех при неработающем оборудовании, а затем определяют общий уровень звукового давления во время работы машин с учетом поправок Δ .

При проведении измерений должны быть приняты меры, указанные в заводских инструкциях к приборам, по устранению влияния внешних факторов, искажающих показания приборов (магнитные или электрически поля и т.д.). Например, электродинамический микрофон шумомера не должен располагаться на расстоянии ближе 2 м от источника интенсивного магнитного поля, а конденсаторный микрофон – на том же расстоянии от источника электростатического поля.

В производственных помещениях при измерениях для санитарно-гигиенического нормирования точки измерений устанавливают согласно ГОСТ 12.1.050-86(2001):

в помещениях с однотипным оборудованием не менее чем на трех рабочих местах и в средней части помещения на уровне органов слуха рабочих (не ниже 1,5 м от пола);

в помещениях со смешанным размещением разнотипного оборудования между машинами в центре каждой группы машин.

При измерениях анализируют уровень звука в дБА путем включения шумомера на частотную характеристику по шкале «А» и временную характеристику «медленно» и уровни звукового давления на среднегеометрических частотах в диапазоне от 63 до 8000 Гц при включении шумомера на частотную характеристику «фильтр» и положение «медленно» с присоединением октавных фильтров. Отсчет показаний прибора производят с точностью до 1 дБ.

Средние октавные уровни звукового давления, или средние уровни звука (дБ, дБА), вычисляют как среднегеометрическое полученных значений:

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i,$$

где L_i – октавный уровень звукового давления (дБ) в октавной полосе или уровень звука в точке измерений, дБА; n – число измерений.

Все измеренные и расчетные величины округляются до целых значений децибел. Если усредненные уровни не отличаются друг от друга более чем на 7 дБ, то за средний принимается их среднеарифметическое значение.

Отличительная особенность обогатительных фабрик – отсутствие постоянных рабочих мест. Поэтому измерения шума необходимо производить в нескольких точках, где осуществляется надзор или обслуживание механизмов. При этом по хронометражным данным рассчитывается эквивалентный уровень звука или уровни звукового давления.

При изучении шумовой обстановки в производственных помещениях с разнотипным оборудованием в РФ и за рубежом получил распространение метод построения карт шума. Данный метод дает возможность составить наглядную картину распространения шума по этажам производственных помещений, оценить шумовую обстановку и выбрать рациональные меры по борьбе с ним.

Для построения карты шума на масштабный план с оборудованием наносят сетку с расстояниями между линиями 6-12 м в дальнем поле от источников шума и 1-2 м – вблизи источников. Измерения осуществляют в точках, соответствующих узлам сетки, по шкале шумомера, включенного на частотную характеристику «А». Результаты измерений уровня звука наносят на план этажа, а точки с равными уровнями соединяют плавными линиями (рис. 24). При этом кривые равных уровней, называемые изобарами или изофонами, проводят через интервалы в 1-2 дБ. Таким образом получают карту шума, где в разрывах изолиний указывают численные значения уровней звука в дБА.

Ориентировочную оценку акустических свойств производственных помещений производят в соответствии с ГОСТ 12.1.050-86(2001). Для этого в период наименьших шумовых помех измеряют уровни звукового давления на среднегеометрических частотах октавных полос при удалении от одиночного работающей машины, расположенной примерно в центре помещения. Точки измерений располагают вдоль главных осей этажа на следующих расстояниях от поверхности выбранной в качестве источника шума машины: 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 м и т.д. до тех пор, пока значения уровней звукового давления не перестанут изменяться с увеличением расстояния от источника. Результаты подобных измерений позволяют ориентировочно оценивать и сравнивать отдельные помещения по звукопоглощающим свойствам ограждающих поверхностей.

Более точный метод оценки звукопоглощающих свойств производственного помещения заключается в количественном определении времени реверберации.

Для проведения подобных измерений может быть использована одна из двух блок-схем. По первой блок-схеме с помощью шумомера с полосовыми фильтрами и самописца уровней производят запись спада звукового давления, создаваемого источником импульсного шума, например стартовым пистолетом при остановленном оборудовании. По линейной части осциллограммы спада звукового давления на всех среднегеометрических частотах определяют время, которое соответствует равномерному спаду уровня на 60 дБ. Такие измерения проводят не менее чем в трех точках помещения. Усредненной величиной этих измерений оценивают время реверберации, по которому рассчитывают степень звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения.

По второй блок-схеме процесс измерения может быть разделен на два этапа, первый из которых заключается в записи на магнитофонную ленту спада звукового давления от шума импульсного источника, а второй – в расшифровке на стационарном анализаторе и определении времени реверберации в лабораторных условиях.

По результатам построения карт шума и определения акустических характеристик помещения составляют протокол исследования,

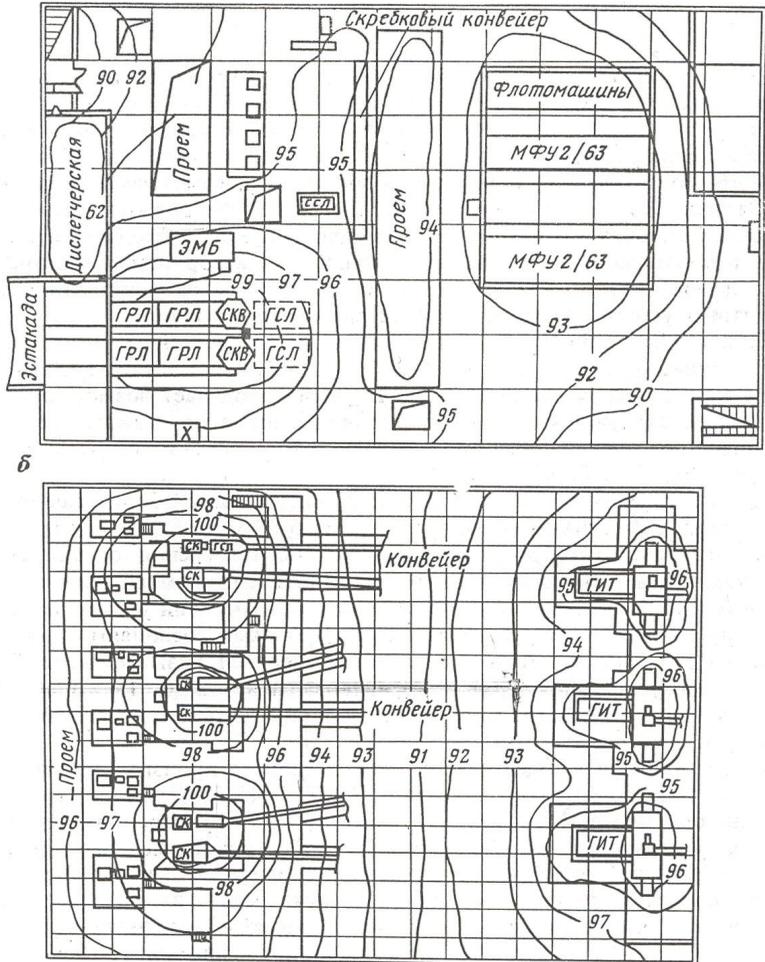


Рис. 24 Пример построения карт шума этажей ГОФ «Ворошиловградская» (а) и ОФ «Эстония» (б)

где должны быть указаны: время и место проведения измерений и условия (температура, влажность, давление и др.).

Шумовые характеристики рабочих мест могут быть представлены в виде таблиц или графиков, на которые наносят кривые допустимых значений параметров шума. В протоколе приводят данные об измерительной аппаратуре, условиях измерений (в виде отдельной таблицы). В протокол также вносят данные об условиях установки

технологического оборудования и характеристике производственного помещения, акустической оценке рабочих мест в виде карт шума всех этажей и графика снижения уровней звукового давления при удалении от одиночно работающей машины или времени реверберации.

Полученные данные служат основой для разработки технических и организационных мероприятий по снижению шума на рабочих местах.

2.5. Методы снижения шума в производственных помещениях

I. Снижение шума в источнике: устранение причин возникновения шума в результате совершенствования конструкции машин; уменьшение площади излучения деталей и узлов машин; увеличение акустического сопротивления в узлах машин в результате применения специальных материалов.

II. Снижение шума на пути распространения: звукоизоляция узлов и машины в целом; виброизоляция машины; установка глушителей.

III. Снижение шума на рабочем месте: применение звукопоглощающих материалов в зонах обслуживания; звукоизоляция рабочих мест в результате применения экранов, кабин наблюдения и дистанционного управления; применение индивидуальных средств; рациональное размещение оборудованию.

IV. Общие организационные и технические мероприятия: применение машин с низким уровнем шума; автоматизация и дистанционное управление машинами; организация работы с учетом минимального воздействия шума на обслуживающий персонал; совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин.

Мероприятия по снижению шума должны разрабатываться на всех стадиях от проектирования машин и фабрики до монтажа оборудования. Снижение шума машин может быть достигнуто уравниванием вращающихся масс, уменьшением скорости движения или частоты вращения, жесткости соприкасающихся поверхностей, изменением кинематических схем, применением упругих материалов, уменьшением технологических до-пусков на изготовление и сборку, обеспечением плотного прилегания в местах связи сопрягаемых деталей, применением материалов с малым значением коэффициента звукоизлучения, покрытием поверхностей отдельных узлов и деталей вибродемпфирующими материалами. Эту работу необходимо проводить на стадии разработки и модернизации машин и оборудования, так как на данной стадии работы по снижению шума машин наиболее эффективны как с точки зрения экономики, так и технологии. В условиях эксплуатации

совершенствование машин в целях снижения шума зачастую невозможно или экономически и технологически трудно выполнимая задача.

Как правило, в условиях эксплуатации основные работы по уменьшению шума и вибрации проводят на пути распространения шума, а также путем применения средств индивидуальной защиты. На рабочих местах снижение шума дополнительно достигается установкой шумозащитных кабин наблюдения.

Весь комплекс мероприятий по снижению шума на пути распространения звуковых волн должен быть внесен в проект фабрики или проект ее реконструкции, обоснован расчетами, свидетельствующими о выполнении требований стандарта по уровню шума на рабочих местах за счет применения мероприятий по шумоглушению.

2.6. Санитарно–гигиеническое нормирование уровней шума

При выполнении работ по борьбе с шумом осуществляется санитарное и техническое формирование параметров шума. Санитарное нормирование регламентирует допустимые уровни шума на рабочих местах без учета шумовых характеристик отдельных машин и места их установки. Техническое нормирование преследует цель обеспечить выполнение санитарных норм за счет ограничения шума самих машин, что позволит исключить их выпуск с высоким уровнем шума.

Основная цель санитарного нормирования заключается в установлении научно обоснованных предельно допустимых величин шума, которые при ежедневном воздействии в течении многих лет не вызывают заболеваний человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности. При этом исходят не из комфортных условий труда, а из условий, при которых вредное влияние шума незначительно. Воздействие шума на организм человека зависит от величины, спектральных характеристик и времени воздействия. В соответствии с международным стандартом ИСО 2631-74 и рекомендациями Международной организации по стандартизации (ИСО) предусмотрены три основных способа оценки нормируемых параметров шума.

Первый способ нормирования основан на установлении предельных спектров, т.е. предельно допустимых уровней звукового давления на среднегеометрических частотах октавных полос. Предельные спектры обозначаются сокращенно ПС с индексом, соответствующим уровню звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, через которую проходит кривая спектра. Например, ПС-80 обозначает спектр или кривую уровней звукового давления, проходящую через 80 дБ на частоте 1000 Гц.

Шум считается допустимым, если уровни звукового давления, измеренные на рабочем месте, ниже значений, определенных по кривой предельного спектра, во всем нормируемом диапазоне частот. При увеличении частоты допустимый уровень звукового давления снижается, благодаря чему учитывается неравноценное действие шума различных частот на человека.

Второй способ нормирования заключается в оценке шума по одной суммарной величине-уровню звука в дБА. Данный метод нормирования благодаря простоте измерений широко применяется для ориентировочной оценки шума. Однако этим методом невозможно определить частотную характеристику, необходимую для проведения работ по шумоглушению источников.

Третий способ нормирования основан на учете времени воздействия шума. Для оценки времени воздействия непостоянного шума принят показатель эквивалентного уровня шума, который представляет собой уровень постоянного шума, оказывающего такое же действие на человека, как и не-постоянный. Для оценки и нормирования непостоянных шумов рекомендациями ИСО предложено пользоваться эквивалентным уровнем звука в дБА.

На основе предельных значений уровней звукового давления установлены санитарные нормы в большинстве промышленно развитых стран (России, Германии, КНР, США, Франции, Канаде, Японии, Швейцарии, Финляндии и др.). В каждой из стран принят различный подход к оценке шума, вследствие чего существуют различные нормы.

В большинстве стран используется предельные спектры, рекомендованные ИСО. Соотношение между уровнями звука и предельными спектрами, рекомендованными ИСО, устанавливается следующим образом: предельному спектру с определенным индексом соответствует уровень звука численно на 5 единиц больше индекса. Например, предельному спектру ПС-80 соответствует уровень звука 85 дБА. Предельный уровень звука 85 дБА установлен в нормах НРБ и Швеции. В нормах Германии, США, Канады и других стран предельный уровень составляет 90 дБА.

В ряде стран наряду с нормами на основе предельных спектров и уровней звука установлены нормы с учетом продолжительности воздействия шума. В США принят закон Уолша-Хили, устанавливающий предельно допустимый уровень шума в зависимости от длительности пребывания работающего в шумном помещении. Так, допускается пребывание человека при действии шума 90 дБА в течение 8 ч; 92 дБА – 4 ч; 97 дБА – 3 ч; 100 дБА – 2 ч; 105 дБА – 1 ч; 110 дБА – 0.5 ч. При этом в США шум оценивается в зависимости от времени с помощью расчетного критерия экспозиции. Расчет производится по формуле

$$C_1/T_1 + C_2/T_2 + C_3/T_3 + \dots + C_n/T_n \leq 1,$$

где С – отрезок времени, в течение которого рабочий подвергается воздействию шума определённого значения, мин; Т – время воздействия данных уровней шума, нормируемых законом.

В ФРГ для оценки уровня шума использовалась инструкция общества немецких инженеров № 2058 лист 2, по которой уровень шума не должен превышать 90 дБА в течение 8 ч; 93 дБА - 4ч; 94 дБА – 3 ч; 96 дБА – 2 ч; 97 дБА - 1,5 ч; 99 дБА - 1 ч; 100 дБА - 0,5ч при непрерывном воздействии. В Великобритании кроме нормируемого спектра также регламентировано время воздействия: 90 дБА не выше 8 ч; 95 дБА - 2,5 ч; 100 дБА - 50 мин; 105 дБА - 15 мин; 110 дБА – 5 мин. Таким образом, в каждой стране установлены определенные нормы риска повреждения слуха и в зависимости от этого допустимые величины шума на рабочих местах.

Таблица 15

Допустимые уровни звукового давления (дБ) для рабочих мест, принятые в некоторых странах

Страны	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
США	115	107	98	92	90	87	86	87
Франция	95	90	85	80	80	80	80	80
Великобритания	100	100	90	85	85	81	81	80
Япония			100	93	87	83	82	86
Австрия, Швейцария, Финляндия, КНР	103	95	90	87	85	82	80	79

В РФ также в соответствии с международным стандартом ИСО 2631-74 устанавливались нормы, учитывающие три способа нормирования шума (табл. 9).

Согласно ГОСТ 20445-75 для оценки воздействия шума при непостоянном его уровне также принят эквивалентный уровень звука, который представляет собой уровень постоянного шума, оказывающего такое же воздействие на человека, как и непостоянный шум. Эквивалентный уровень звука при непостоянном шуме рассчитывается по формуле

$$L_{A_{ЭКВ}} = 10 \lg \left(\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n t * 10^{0.1L_i} \right),$$

где t – интервал времени, в течении которого рабочий находится под действием шума определённой величины, %; i=1,2,3,...,n – интервалы

времени воздействия шума определённой величины, %; L_i - средний уровень звука в данном интервале, дБА.

Пример. Весь период рабочей смены составляет 8 ч (100 %). Из них 2 ч (25 %) уровень шума, которому подвергается рабочий, составляет 98 дБА, 4 ч (50 %) – 90 дБА и 2 ч (25%) – 86 дБА. Эквивалентный уровень звука за всю смену

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg(25 * 10^{0.1 * 98} + 25 * 10^{0.1 * 90} + 50 * 10^{0.1 * 86}) = 93.3$$

дБА.

Следовательно, шум, которому подвергается рабочий в течении смены, эквивалентен стабильному шуму с уровнем 93,3 дБА, что превышает на 8,3 дБА установленные нормы.

В отличие от санитарных норм, которые устанавливаются едиными для всех рабочих мест производственных помещений независимо от шумовых характеристик машин и методов их установки, единые технические нормы на все виды оборудования рекомендовать практически невозможно. При регламентации технических норм на машины необходимо исходить из условий доведения шумовых характеристик машин до такой величины, чтобы они при групповой установке создавали уровни шума, отвечающие требованиям санитарных норм. При этом должны учитываться как техническая возможность, так и экономическая целесообразность.

Уровни звука и звукового давления на рабочих местах являются характеристиками отдельных точек звукового поля и зависят от числа машин и акустических характеристик помещения. В большинстве случаев отдельные машины по шумовым характеристикам отвечают требованиям санитарных норм, однако при групповой установке уровень шума в зонах обслуживания этих машин может значительно превышать допустимые для рабочих мест значения. Оценивая машину как источник шума, необходимо выбрать такую характеристику, которая позволила бы сравнивать шум машин как одного, так и различных типов. Кроме того, характеристики шума машин должны обеспечивать возможность определения соответствия шума машин предельно допустимой величине, установленной в соответствующих нормативно-технических документах, и позволять проводить расчет ожидаемого уровня шума в зонах установки этих машин в производственных помещениях. Такой универсальной характеристикой является звуковая мощность машин.

В настоящее время установлена оценка шума по двум характеристикам: предельно допустимая шумовая характеристика (ПДШХ), представляющая собой величину звуковой мощности машины, которая с учетом применения средств шумоглушения создает в зонах

обслуживания машин при их групповой установке уровни шума, соответствующие установленным нормам для рабочих мест; технически достижимая шумовая характеристика (ТДШХ), представляющая собой временную характеристику шума машины, которая устанавливается исходя из экономической целесообразности существующей технической возможности изготовителей. Определить предельно допустимые шумовые характеристики машин можно при известных условиях установки конкретных машин в производственных помещениях с определенными акустическими характеристиками на основании допустимых значений уровней шума для рабочих мест. Соблюдение значений ПДШХ позволило бы создать условия труда по параметрам шума, отвечающие требованиям санитарного нормирования.

Таблица 16

Допустимые параметры шума по ГОСТ 12.1.003-83 (2001).

Рабочие места	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Помещения конструкторских бюро, расчётчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий или теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приёма больных в здрав-пунктах	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управлений, рабочие комнаты	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Кабины наблюдений и дистанционного управления: без речевой связи по телефону;	94	87	82	78	75	73	71	70	80
	83	74	68	63	60	57	55	54	65

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Помещения и участки точной сборки, машинописное бюро	83	74	68	6	60	57	55	54	65
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	94	87	82	78	76	73	71	70	80
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Наиболее детально разработаны в настоящее время технические нормативы на шум электрических машин. ГОСТ 16372-77 установил порядок нормирования и допустимые уровни шума для машин мощностью от 0,25 до 1000 Вт. В качестве нормируемой величины принят уровень звука в дБА на расстоянии 1 м от контура электродвигателя,

обозначаемый $L_{A_{d1}}$, либо так называемый скорректированный уровень звуковой мощности, обозначаемый L_{pA} , и соответствующие ему октавные уровни звуковой мощности. В зависимости от требований к уровню шума электрические машины разделяются на четыре класса.

К первому классу относятся машины нормального исполнения постоянного, переменного тока – асинхронные, синхронные, коллекторные.

Машины с малозумными подшипниками, со специальными малозумными вентиляторами относятся ко второму классу.

Третий класс включает машины с пониженным использованием активных материалов, закрытые (с водяным или естественным охлаждением), с глушителями вентиляционного шума.

Машины со звукоизолирующим кожухом или другими существенными изменениями конструкции, выполненными с целью снижения шума, относятся к четвертому классу,

Допустимые скорректированные уровни звуковой мощности для электрических машин первого класса в режиме холостого хода при отсутствии других источников шума не должны превышать значений, указанных в табл. 13, а допустимые уровни звука не должны превышать значений, указанных в табл. 14.

Таблица 17

**Допустимые скорректированные уровни звуковой мощности
 L_{pA} (дБА) для электрических машин первого класса**

Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин ⁻¹					
	600-900	Более 900 до 1320	Более 1320 до 1900	Более 1900 до 2360	Более 2360 до 3150	Более 3150 до 3750
Более						
0,25 до 1,1	76	79	80	83	84	88
» 1,1 до 2,2	79	80	83	87	89	91
» 2,2 до 5,5	82	84	87	92	93	95
» 5,5 до 110	85	88	91	96	97	100
» 11 до 22	89	93	96	98	101	103
» 22 до 37	91	95	97	100	103	105
» 37 до 55	92	97	99	103	105	107
» 55 до 110	96	101	104	105	107	109
» 110 до 220	100	104	106	108	110	112
» 220 до 400	102	106	109	111	112	114
» 400 до 630	104	108	111	113	114	116
» 630 до 1000	106	110	113	115	116	118

Допустимые значения уровней шума для машин второго класса должны быть на 5 дБА, для машин третьего класса на 10 дБА, для машин четвертого класса на 15дБА ниже указанных в табл. 11. Аналогично в настоящее время установлены технические нормы шума на металлообрабатывающие станки, на оборудование объемных гидроприводов и смазочных систем. Технические нормы шума в настоящее время установлены официально и для ряда -технологических машин, применяемых на обогатительных фабриках. В табл. 12 приведены шумовые характеристики, которые внесены в настоящее время в стандарты в качестве технически достижимых величин на отдельные машины.

Допустимые уровни звука L_{Ad1} (дБА) для электрических машин первого класса

Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин ⁻¹					
	От 600 до 900	более 900 до 1320	Более 1320 до 1900	Более 1900 до 2360	Более 2360 до 3150	Более 3150 до 3750
Более						
0,25 до 5,5	78	81	85	88	91	84
» 5,5 до 11	82	85	88	91	94	97
» 11 до 22	86	89	92	94	97	100
» 22 до 37	89	92	94	96	99	102
» 37 до 55	90	94	97	99	101	104
» 55 до 110	94	97	100	102	104	106
» 110 до 220	98	100	103	105	107	108
» 220 до 400	100	104	106	107	108	110
» 400 до 630	103	106	108	109	110	111
» 630 до 1000	105	108	110	111	112	113

2.7. Методы борьбы с шумом в производственных помещениях

2.7.1. Снижение структурного шума

В производственных помещениях вибрации сопровождают работу машин (центробежные) или лежат в основе их технологии (грохоты, дробилки и др.). Возникающие в конструкциях машин упругие изгибные и продольные волны приводят к созданию шума, излучаемого поверхностями машин. При жесткой установке машин и изношенности деталей возникающие вибрации поверхности машин передаются металлоконструкциям и строительным конструкциям зданий, которые, как правило, строятся из материалов с малыми потерями на внутреннее трение, что приводит к распространению вибрации по всему зданию, создавая структурный шум. Уровень структурного шума, обусловленный передачей вибраций, пропорционален квадрату скорости вибраций поверхности. Уменьшение структурного шума достигается снижением вибраций оборудования и изолированием источника вибрации от строительных конструкций. Для этого применяют виброизоляцию или вибродемпфирование.

Виброизоляция заключается в установке между вибрирующими узлами машин и строительными конструкциями элементов, способных уменьшить передачу вибраций на пути их распространения. Эти элементы представляют собой как бы акустический фильтр, роль которого выполняют различного рода виброизоляторы. Виброизолирующие материалы должны отвечать трем основным требованиям: обладать

малым динамическим модулем упругости, механической прочностью и долговечностью. Амортизаторы должны обладать также достаточным внутренним трением, а также стойкостью к воздействию давления, температуры, влажности и воздействию агрессивных сред.

Конструктивно виброизоляторы подразделяются на резиновые амортизаторы, стальные пружины и пневматические амортизаторы.

Резиновые амортизаторы с деформацией сдвига и сжатия представляют собой различные формованные листы и прокладки, которые деформируются под действием нагрузок. Они относительно дешевы и пригодны для снижения вибраций на высоких частотах. Поэтому их применяют и для звукоизоляции, а также в случае, когда не требуется учитывать низкие резонансные частоты. Резиновые амортизаторы имеют сравнительно небольшой срок службы, так как быстро теряют свои упругие свойства.

При изготовлении амортизаторов из резины следует учитывать ее малую сжимаемость, обусловленную боковыми деформациями. Поэтому резиновые прокладки должны иметь форму ребристых или дырчатых пластин, допускающую свободное растягивание резины в стороны.

Распространенной ошибкой на практике является установка машин на больших кусках листовой резины. Резина осаживается мало, так как боковая деформация ее затруднена, поэтому виброизолирующая способность резко снижается. При использовании листовой резины, каждую прокладку следует изготавливать в виде ленты, ширина которой не должна превышать толщину более чем в 2-3 раза. Это позволяет прокладке при осадке раздвигаться в стороны. Упругие резиновые прокладки препятствуют распространению высокочастотной вибрации возникающей при большой частоте вращения вращающихся механизмов.

Для ослабления действий вибраций тихоходных машин рекомендуется использовать пружинные амортизаторы, гибкость которых изменяется в широких пределах. При правильно выбранном диаметре и высоте пружин последние отличаются стабильностью и долговечностью. Основным недостатком пружин - достаточно хорошая передача звуковой мощности на высоких частотах.

Недостатки резиновых амортизаторов и пружин устраняют применением комбинированных виброизоляторов (сочетание резиновых прокладок и пружин). Комбинированный виброизолятор снижает звуковые колебания на 50-60 дБ (стальные пружины снижают на 30-40 дБ) на частотах более 100 Гц.

Пневматические виброизоляторы представляют собой пневматические подушки, которые действуют подобно пружинам. Регулированием давления воздуха в подушках представляется возможность существенно изменять их упругие свойства. Используя

пневматические опоры, можно снизить собственные частоты системы до 1 Гц. Вместе с тем применение пневматических виброизоляторов сопряжено со сложностью поддержания давления постоянным в камерах пневматических подушек.

В каждом конкретном случае тип амортизатора выбирают в зависимости от диапазона частот вынужденных колебаний. Резиновые амортизаторы рекомендуется применять при возмущающих частотах более 12 Гц, стальные пружины - при любых частотах. Металлорезиновые амортизаторы имеют высокую упругость и обеспечивают виброизоляцию на низких частотах, начиная с 4-6 Гц. Необходимо иметь в виду, что наличие амортизаторов почти не снижает уровень шума в помещении, где установлена машина, но значительно снижает структурный шум, распространяемый в смежные помещения.

При установке виброизоляторов любого типа центр их жесткости и центр тяжести нагрузки должны находиться на одной вертикали. Центр жесткости виброизолятора – это точка, через которую проходит равнодействующая реакция всех виброизоляторов при одинаковой их деформации. При комбинированных амортизаторах центры жесткости пружин и резины также должны быть на одной вертикали. Это требование должно выполняться также для каждого отдельного виброизолятора, в котором установлено несколько амортизаторов.

Эффективность виброизоляции принято характеризовать коэффициентом передачи на основании R_n , который показывает, какая доля динамической силы, действующей со стороны машины, передаётся через виброизоляторы. Величина этого коэффициента зависит от отношения частоты возмущения силы к частоте собственных вертикальных колебаний системы, включающей саму машину, опорное основание и виброизоляторы, и определяется по формуле

$$R_n = F_d / F_a = [(f / f_c)^2 - 1]^{-1},$$

где F_d и F_a – амплитуда динамической силы, соответственно передающейся через виброизолятор на основание и воздействующей на изолируемую от основания машину, м; f и f_c – частота соответственно вынуждающей силы и собственных вертикальных колебаний установки, Гц.

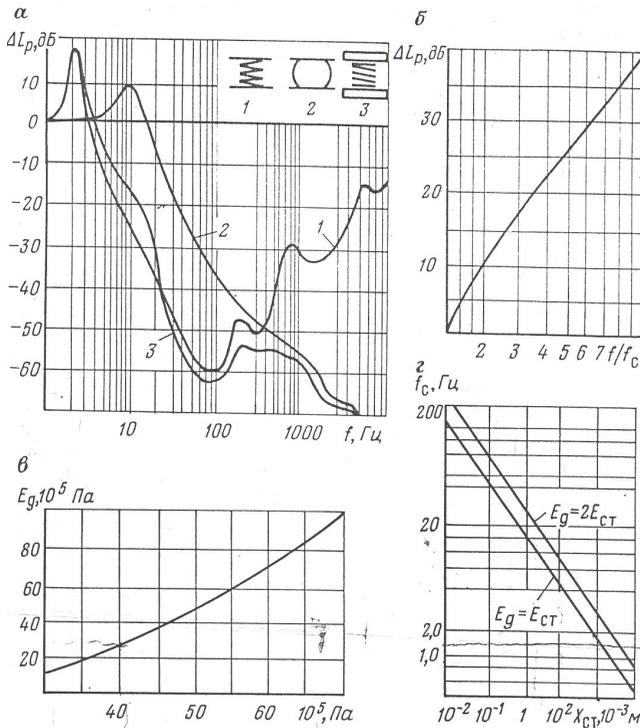


Рис. 25. Характеристики амортизаторов: а — зависимость величины передачи звуковых колебаний через стальные виброизоляторы (1), резиновые амортизаторы (2), стальные пружины с резиновыми прокладками (3); б — зависимость снижения уровня вибраций ΔL , передаваемых амортизаторами, от отношения частоты вынужденных колебаний к частоте собственных колебаний системы f/f_c ; в — зависимость динамического модуля упругости E резиновых амортизаторов от твердости по Шору; г — зависимость частоты собственных колебаний f от статической осадки амортизаторов $x_{ст}$

При $f = f_c$ наступает явление резонанса, приводящее к возрастанию амплитуды колебаний машины. При $f \geq \sqrt{2}f_c$ изолируемая система оказывает инерционное сопротивление, и величина R_n становится меньше единицы. Таким образом, эффективность виброизоляции возрастает с увеличением частоты вынуждающей силы. Наилучшие условия работы виброизоляторов осуществляются при $f_c < f / \sqrt{2}$. При соотношениях f/f_c , равных 2.5; 3; 4; 5, эффективность виброизоляции составляет соответственно 81; 87.5; 93; 96 % [1].

Ослабление величины структурного шума, передающегося через перекрытие, на котором установлена машина на виброизоляторах, может быть определено по формуле

$$\Delta L = 20 \lg[(f / f_c)^2 - 1] \quad (6)$$

Приведенные формулы справедливы только для практики, так как расчеты ограничиваются одной степенью свободы (вертикальной).

При установке машины на амортизаторы без предварительного расчета возможно возрастание вибрации и шума в результате резонанса. Поэтому в каждом конкретном случае установке виброамортизаторов любого типа должен предшествовать расчет, который сводится к определению жесткости прокладок и пружин, а также к определению необходимого их числа и размеров.

При разработке виброизолирующего основания для машины необходимо, чтобы масса вибрируемой установки m_y (кг) соответствовала бы следующей зависимости:

$$m_y \geq 2.5 \varepsilon m_{вр.ч.} / a_{доп}, \quad (7)$$

где ε - эксцентриситет вращающихся частей (принимается $0.2 \cdot 10^{-3} \div 0.4 \cdot 10^{-3}$ м при динамической балансировке и $1.5 \cdot 10^{-3}$ при статической балансировке вращающихся частей); $m_{вр.ч.}$ - масса вращающихся частей, кг; $a_{доп.}$ - максимально допустимая амплитуда смещения установки, м ($a_{доп.} = 0.12 \cdot 10^{-3}$ м при частоте вращения $900-1500 \text{ мин}^{-1}$ и $0.25 \cdot 10^{-3}$ м при частоте вращения $400-600 \text{ мин}^{-1}$).

Если масса системы, включающей машину, раму и электродвигатель, меньше требуемой, ее увеличивают, например, заливкой рамы бетоном. В общем случае вибрирующее основание под оборудование должно обеспечивать снижение структурного шума на следующие величины (дБ) [29]:

Центробежные компрессоры мощностью, кВт:

11 34

15-45 17

56-112 20

Центробежные насосы 26

Вентиляторы с частотой вращения, мин^{-1} :

более 800 26

500-800 20-26

350-500 17-20

20-350 11-17

Расчёт и подбор стальных пружинных амортизаторов производится в следующей последовательности [1, 17].

Вначале определяется статическая нагрузка (Н) на одну пружину:

$$P_{cn} = m_y \cdot 10 / (n n_n) \quad (8)$$

где m_y — общая масса установки, кг; n — число амортизаторов; n_n — число пружин в одном амортизаторе.

Рассчитывается максимальная рабочая нагрузка (Н) на пружину:

$$P_{\max \text{ расч}} = P_{cn} + 1.5 \cdot 4\pi^2 f_c^2 a_{\text{дон}} P_{cn} / (10g) \quad (9)$$

Далее рассчитывают требуемую суммарную жёсткость $K_{z_{mp}}$ виброизоляторов в вертикальном направлении:

$$K_{z_{mp}} = 4\pi^2 f_c^2 m / g \quad (10)$$

Определяют требуемую жёсткость $K_{тр}$ пружины в продольном направлении:

$$K_{mp} = K_{z_{mp}} / (n n_n) \quad (11)$$

Тип виброизоляторов выбирают согласно расчёту по табл. 35 с соблюдением следующих требований:

$$P_{\max} \geq P_{\max \text{ расч}}; K_{z_{mp}} \leq K_{mp}$$

где $P_{\max \text{ расч}}$ — максимальная расчётная нагрузка на пружину, Н.

Расчёт резиновых амортизаторов сводится к определению размеров и их числа при принятых характеристиках резины. Расчёт производится в следующей последовательности [1, 17].

Зная частоту вынужденных колебаний системы

$$f = n/60, \quad (12)$$

находят собственную частоту системы

$$f_c = f/n_n, \quad (13)$$

где n_n — принимают по графику рис. 76, б, исходя из величины требуемого снижения вибраций.

Таблица 19

Параметры типовых опорных пружин (из альбома серии ОВ-02-128, выпущенного институтом «Сантехпроект»)

Наименование величин	Обозначение пружин							
	Д038	Д039	Д040	Д041	Д042	Д043	Д044	Д045
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальная рабочая нагрузка на пружину P_{\max} , ×10Н	12	22	24	55	96	168	243	380
Частота вертикальных колебаний установки при максимальной рабочей нагрузке f , Гц	3	2.7	2.5	2.4	2.1	2.1	1.9	1.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Жёсткость пружины в продольном направлении $K_z, \times 10 \text{ Н/м}$	4.6	6.2	8.3	12.6	16.8	30	36.4	45
Диаметр проволоки $d, \times 10^{-2} \text{ м}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5
Число рабочих витков, i	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Высота пружины в ненагруженном состоянии $H, \times 10^{-2} \text{ м}$	6.5	8.4	10.2	11.4	15.2	17.1	20.2	24.5
Полная высота пружины в ненагруженном состоянии $H_0, \times 10^{-2} \text{ м}$	6.8	8.8	10.7	12.3	16.4	18.6	22.0	27.5
Шаг ненагруженной пружины $s, \times 10^2 \text{ м}$	1	1.3	1.7	1.8	2.4	2.7	3.2	4.0
Диаметр пружины $D, \times 10^2 \text{ м}$	3	4	5	5.4	7.2	8.0	9.6	12.0
Полная длина проволоки $l, \times 10^{-2} \text{ м}$	75.2	101.5	118.5	137.0	182.5	202	242.4	303.2
Материал пружины (класс II по ГОСТ 9389-75)	П-3	П-4	П-5	П-6	П-8	10	12	15

Примечание. Угол навивки $\alpha=9^030'$ при $i=6$; $\alpha=7^010'$ при $i=6.5$.

По графику рис. 76, г определяют статическую осадку амортизаторов $x_{ст}$, соответствующую выбранной величине и сорту резины.

Статический E_c и динамический E_d модуль упругости резины при сжатии в зависимости от её твёрдости определяют в соответствии с рис. 76, в.

Затем определяют необходимую суммарную площадь (м^2) амортизаторов:

$$S=Q/\sigma, \quad (14)$$

где Q – масса конструкции, кг; σ - расчётное статическое напряжение в резине, Па (принимается $10^5 \div 3 \cdot 10^5$ Па при твёрдости резины по Шору до 40; для резины большей твёрдости - $3 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ Па).

Задаются числом амортизаторов и определяют площадь (м^2) каждого:

$$S_1 = S/n,$$

при этом размер сторон амортизатора составляет $B = \sqrt{S_1}$.

Рабочую H и полную H_0 высоты амортизаторов определяют по формулам:

$$H = x_{cm} E_c / \sigma; H_0 = H - B/8. \quad (15)$$

Если $H_0 > 1,2 B$ или $H \leq B/8$, изменяют число амортизаторов или сорт резины и производят повторный расчет.

Пример 1. Подобрать пружинные амортизаторы для вентилятора массой 1200 кг и всей установки с основанием массой 1800 кг. Частота вращения рабочего колеса 600 мин⁻¹. Эксцентриситет вращающихся частей ε принимают для динамически отбалансированного вентилятора равным $0,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Массу вращающихся частей определяют по данным проектных чертежей ($m_{вр} = 500$ кг).

Подбор амортизаторов производят следующим образом.

Определяется частота вынужденных колебаний по формуле (12):

$$f = 600/60 = 10 \text{ Гц.}$$

Требуемое ослабление шума ΔL составляет 20-26 дБ для вентиляторов с частотой вращения 500-800 мин⁻¹.

По заданной эффективности виброизоляции ΔL по рис. 76,б определяют отношение f/f_c , которое составляет 5. Величина f_c рассчитывается по формуле (13): $f_c = 10/5 = 2$ Гц.

Определяем минимальную требуемую массу виброизолирующей установки по формуле (7). При $\varepsilon = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м и допустимой амплитуде смещения $a_{доп} = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м

$$m_y \geq 2,5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 500 / (0,25 \cdot 10^{-3}) = 1000 \text{ кг.}$$

Так как требуемая по расчету масса установки 1000 кг меньше принятой 1800 кг, нет необходимости искусственно увеличивать массу основания.

Принимаем к установке четыре виброизолятора по две пружины в каждом.

Статическую и максимальную расчетную нагрузку на одну пружину определяем по формулам (8) и (9):

$$P_{ст} = 1800 \cdot 10 / (4 \cdot 2) = 2250 \text{ Н;}$$

$$P_{\max \text{ расч}} = 2250 + 1,5 \cdot 4 \cdot 3,14^2 \cdot 2^2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 2250 / \times / (10 \cdot 9,8) \approx 2250 \text{ Н.}$$

Требуемая суммарная жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении рассчитывается по формуле (10):

$$K_{z_{np}} = 4 \cdot 3,14^2 \cdot 2^2 \cdot 1800 / 9,8 \approx 28260 \text{ Н/м.}$$

Допустимую жесткость одной пружины рассчитываем по формуле (11):

$$K_{тр} = 28\ 260 / 8 = 3532 \text{ Н/м.}$$

Для полученной нагрузки по табл. 35 можно принять типовую пружину ДО45, для которой $P_{\max} = 3800 > P_{\max \text{ расч}} = 2250$ Н; $K_z = 450 < K_{тр} = 3532$ Н/м.

Пример 2. Подобрать резиновые амортизаторы для вентилятора с частотой вращения 400 мин^{-1} при массе установки вместе с основанием 800 кг.

Определяем частоту вынужденных колебаний вентилятора по формуле (12): $f=7 \text{ Гц}$.

По справочным данным выбираем резину для амортизаторов с модулем упругости $E=40 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и допустимым напряжением $\sigma=5 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Рассчитываем общую площадь всех амортизаторов по формуле (14):

$$S=8000/(5 \cdot 10^5)=0,016 \text{ м}^2.$$

Принимаем число амортизаторов равным 4. Площадь каждого при этом равна $S_1=S/n=0,016/4=0,004 \text{ м}^2$, а размер стороны амортизатора

$$B=\sqrt{S_1}=\sqrt{0,004}=0,07 \text{ м}.$$

Статическая осадка $x_{\text{ст}}$ для частоты 7 Гц равна $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (см. рис. 76).

Рабочая высота амортизатора

$$H=5 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^5 / (5 \cdot 10^5)=0,04 \text{ м}.$$

Полная высота амортизатора

$$H_0=0,04+0,07/8 \approx 0,048 \text{ м}.$$

В соответствии с условием формул (15) значение $H_0=0,048 < 1,2 B = 0,084 \text{ м}$, а

$$H_0=0,04 \text{ м} > B/8=0,008 \text{ м}.$$

Следовательно необходимо удвоить число амортизаторов или выбрать другой сорт резины и расчет повторить.

В большинстве случаев виброизоляторы устанавливают в четырех точках по углам прямоугольника относительно центра тяжести установки (рама, машина, электродвигатель). Иногда применяют кустовые виброизоляторы (от двух до шести в кусте), которые располагают в четырех или шести точках основания.

После расчета и подбора пружинных или резиновых виброизоляторов и их размещения определяют максимальную частоту собственных колебаний виброизолированной установки, которая сопоставляется с расчетной величиной.

Для борьбы с вибрациями и шумом на практике применяют вибродемпфирование – искусственное повышение потерь колебательной энергии вибрирующих поверхностей путем нанесения на них покрытий с высоким внутренним трением. Данный метод широко применяют в различных отраслях промышленности. За счет нанесения вибропоглощающих покрытий на стенки поверхности строительных машин, обшивки судов и вагонов, корпусов камнедробилок и других достигается значительное снижение шума и вибрации. Жесткое соединение демпфирующего слоя с металлом способствует быстрой

затуханию изгибных волн, распространяющихся по поверхности металлических конструкций при возникновении ударных нагрузок. Кроме того, снижаются амплитуды изгибных колебаний, металлических поверхностей, особенно в области резонансных частот. Этим обусловлено и снижение излучаемого шума.

Эффективность покрытий зависит от модуля потерь, характеризующего вибродемпфирующий материал и определяемого как произведение коэффициента внутренних потерь в материале η и динамического модуля упругости E_d . Чем больше это произведение, тем выше вибродемпфирующее свойство данного материала. Коэффициенты потерь для некоторых материалов следующие:

Металлы	0.0001-0.001
Бетон и кирпич	0.001-0.1
Древесина	0.01
Мягкая резина	0.01-0.1
Мягкая пробка	0.01-0.3
Вибродемпфирующие мастики	0.2-1.0

Вибродемпфирующие покрытия подразделяют на жесткие и мягкие. Жесткие покрытия представляют собой пластические массы с динамическим модулем упругости 10^8 - 10^9 Па. Твердые вибродемпфирующие покрытия применяют в виде однослойных и многослойных конструкций. С увеличением упругости этих материалов возрастают потери колебательной энергии.

Мягкие покрытия включают мягкие резины, вибропоглощающие мастики и другие материалы с динамическим модулем упругости менее 10 Па. Вибропоглощающие мастики наносят шпателем или механизированным способом с помощью распылителя. Нанесение мягких покрытий толщиной, равной толщине покрытия из твердых материалов, приводит к возрастанию эффективности колебательной скорости на высоких частотах.

Целесообразность применения вибродемпфирующих материалов определяется размерами, формой вибрирующих поверхностей, а также характером спектра уровней виброскорости на поверхности.

Применение метода вибродемпфирования нецелесообразно для конструкций небольших размеров или узлов машин, доля которых в шумовых характеристиках незначительна. Эффективность применения данного метода наибольшая для больших поверхностей, максимум колебательной энергии которых расположен в области высоких частот.

Облицовка поверхностей сложной конфигурации листовыми материалами труднее выполняема и менее технологична, чем материалами

типа мастик, так как оптимальный эффект вибропоглощения достигается при достаточно плотном и прочном соединении материала с поверхностями машин.

Материал покрытия и его толщину выбирают, исходя из частотного диапазона, в котором необходимо снизить шум, вида упругих колебаний металлических поверхностей, условий эксплуатации и технологии нанесения.

Вибропоглощающее покрытие считается более эффективным при коэффициенте потерь конструкции с нанесенным покрытием не менее 0.05, что соответствует почти пятикратному затуханию колебаний, по сравнению с конструкциями без покрытия.

Характеристика вибропоглощающих покрытий некоторых видов дана в табл. 36.

Наиболее дешевые и эффективные мастики (например, № 579, 580, 213) представляют собой смесь битума и асбестового волокна с добавлением растительных масел.

Вибродемпфирующая мастика ВД-17-58 представляет собой холодную смесь вязкого раствора синтетических смол и наполнителя (поливинилацетатная эмульсия, фенолспирт, ортофосфорная кислота, пылевидный кварц, технический тальк). Перед нанесением мастик поверхность металла должна быть обработана специальными грунтовками. Резиновые покрытия приклеивают по всей поверхности металлоконструкции, а вибродемпфирующие пластики приклеивают или крепят с помощью винтов.

Снижение уровня колебаний металлической поверхности, а следовательно, и уровня шума при облицовке ее вибропоглощающим слоем рассчитывают по формуле.

$$\Delta L = 20 \lg(\eta_1 + \eta_2 / \eta_1),$$

где η_1 , η_2 , η_3 – коэффициент потерь соответственно вибрирующей поверхности, вибрирующей поверхности после нанесения вибропоглощающего слоя и вибропоглощающего слоя.

Таблица 20

Характеристика некоторых вибродемпфирующих материалов

Материал	E_p	η_3	$\eta_3 E_p, \text{Па}$	Завод-изготовитель
1	2	3	4	5
Мастика: № 579	$8 \cdot 10^8$	0.15	$1.2 \cdot 10^8$	Рoshальский химический комбинат
№ 580	$8 \cdot 10^8$	0.25	$1.5 \cdot 10^8$	Ярославский лакокрасочный завод «Победа рабочих»
№ 213	$1.1 \cdot 10^8$	0.4	$0.44 \cdot 10^8$	Загорский лакокрасочный завод
«Антивибрит»	$3 \cdot 10^9$	0.44	$1.32 \cdot 10^9$	НИИПМ (г. Москва)
Пластик № 378	$8 \cdot 10^8$	0.45	$3.6 \cdot 10^8$	Ярославский лакокрасочный завод «Победа рабочих»

1	2	3	4	5
Пластик «Агат»	$8 \cdot 10^8$	0.42	$3.36 \cdot 10^8$	Владимирский химический завод
Резина	10^7	0.18	$1.8 \cdot 10^6$	—
ВД-17-58	$6 \cdot 10^9$	0.44	$2.6 \cdot 10^8$	—
ВД-17-63	$3.9 \cdot 10^9$	0.23	$8.9 \cdot 10^8$	—
Сталь	$2 \cdot 10^{11}$	0.01	$1 \cdot 10^9$	—

Коэффициент потерь η_2 пропорционален коэффициенту потерь η_3 , умноженному на модуль упругости материала покрытия E_n . Толщину слоя вибродемпфирующей мастики можно определить по рис. 26. При больших значениях величин $a=E_n/E_m$ и $b=h_n/h_m$ отношение η_2/η_3 стремится к единице (где E_n и E_m - модуль упругости соответственно покрытия и металла конструкции, Па; h_n , h_m - толщина покрытия и металлической конструкции, м).

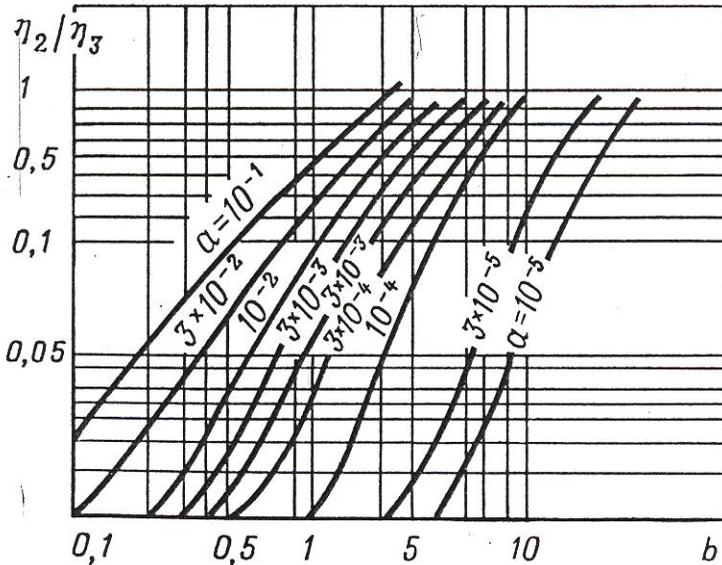


Рис. 26 Номограмма Оберста для определения толщины слоя вибродемпфирующей мастики

Наибольший прирост величины потерь η_2 за счет применения мастик для твердых покрытий толщиной в 3-5 толщины металлоконструкций ориентировочно может быть рассчитан по формуле

$$\eta_2 = \eta_3 \frac{E_n}{E_m} \left(\frac{h_n}{h_m} \right)^2 \quad (17)$$

Пример. Определить ориентировочно величину снижения шума в результате нанесения на звукоизолирующий кожух, установленный на привод машины, слоя мастики «Антивибрит» толщиной 6 мм. Кожух изготовлен из стального листа толщиной 2 мм.

Определяем отношение $a = E_n/E_m$ с учетом данных табл. 16:

$$a = 3 \cdot 10^9 / (2 \cdot 10^{11}) = 1.5 \cdot 10^{-2}.$$

Отношение $b = h_n/h_m = 3$.

Значение η_2 определяем по формуле (17), считая что $\eta_3 = 0.44$ (см. табл. 16):

$$\eta_2 = 0.44 \cdot 0.015 \cdot 9 = 0.059.$$

Общее снижение уровня шума благодаря применению мастики рассчитываем по формуле (16)

$$\Delta L = 20 \lg 6.9 \approx 16 \text{ дБ}.$$

2.7.2. Снижение шума методом звукопоглощения

Строительные сооружения и материалы характеризуются свойствами поглощать определенную часть падающей на них звуковой энергии. Количественной характеристикой эффективности поглощения звука является безразмерный коэффициент звукопоглощения α , представляющий собой отношение разности энергий падающего и отраженного звука к энергии падающего звука. Чем больше эта величина, тем больше звуковой энергии поглощается ограждающими поверхностями помещений.

Для обычных строительных материалов величина α сравнительно мала и не превышает 0,02-0,04 на средних и высоких частотах (табл. 45). Поэтому в производственных помещениях значения прямого и отраженного звуков зачастую соизмеримы, что приводит к возрастанию общего уровня шума. Практически в, результате многократного звукоотражения в помещениях создается так называемое «эхо», или «гул».

Уменьшение «гулкости» помещения, т.е. снижение величины отраженного звука достигается искусственным увеличением в 10-15 раз звукопоглощающей способности отражательных поверхностей помещения (метод звукопоглощения). Достигается это установкой на отражательных поверхностях помещений (потолках, стенах и др.) специальных звукопоглощающих материалов и конструкции, коэффициенты звукопоглощения которых составляют 0,4-0,9. Высокая

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Звукопоглощающие материалы								
Плиты полужёсткие из минеральной ваты на крахмальном связующем (ТУ 81-63) толщиной 10мм.	0,2	0,2	0,45	0,82	0,98	0,93	—	—
Маты из минеральной ваты на связующем из синтетический смол (ТУ 104-53) толщиной 50мм.	0,3	0,37	0,72	0,67	0,67	0,66	0,66	—
Маты из минеральной ваты (ГОСТ 4640-76) толщиной, мм:	50	0,05	0,05	0,26	0,8	0,93	—	—
	100	0,15	0,15	0,75	0,8	0,8	—	—
Минеральные плиты ПП-80 толщиной, мм:	25	0,08	0,08	0,3	0,64	0,89	0,95	0,81
	50	0,14	0,14	0,52	0,9	0,99	0,92	0,82
Супертонкое базальтовое волокно толщиной 50 мм.	0,05	0,05	0,27	0,9	0,65	—	—	—
Маты из штапельного волокна (ВТУ № 965-5328)	0,24	0,24	0,31	0,65	0,69	0,72	0,64	0,64
Ультратонкое стекловолокно (УТВ МРТУ М-879- 62)	0,03	0,03	0,06	0,2	0,6	—	—	—
Маты из стекловолокна (ВТУ 965-3528-58) толщиной 50 мм.	0,13	0,13	0,32	0,64	0,62	0,59	0,59	0,59
Акустический фибролит (ГОСТ 8928-81) толщиной 35 мм., длиной 100мм.	0,08	0,08	0,27	0,5	0,35	0,54	0,6	0,6
Плиты перлитовые толщиной 30 мм.	0,15	0,15	0,68	0,79	0,61	0,6	0,63	0,63
Плиты пемзолитовые толщиной 50 мм., длиной 30 мм.	0,52	0,52	0,65	0,5	0,48	0,5	0,59	0,59

Пористые звукопоглотители с полужесткой структурой являются древесноволокнистыми минераловатными, а также в виде стекловолокнистых плит на различных связках с окрашенной и профилированной поверхностью. Данные звукопоглотители можно крепить вплотную к облицовываемой поверхности, подвешивать или устанавливать с воздушным зазором звукопоглощающих облицовок. Величина воздушного зазора изменяет частотную характеристику звукопоглощающих материалов, увеличивая звукопоглощение в области низких частот.

Коэффициент звукопоглощения пористых материалов возрастает с увеличением частоты падающей звуковой волны. Для увеличения звукопоглощающей способности в области низких частот производят утолщение слоя и создают воздушные зазоры между отдельными слоями. Для каждого материала существует оптимальная предельная толщина слоя (см), свыше которой не происходит рост степени поглощения: хлопковая вата – 40—80, шерстяной рыхлый войлок – 18, минеральная вата – 9, пористый гипс – 0,6.

Имеются специальные звукопоглощающие материалы, изготавливаемые в виде плит, основой которых является минеральная крошка, гравий, пемза, каолин, шлак, асбест, минеральная вата, стеклянное или капроновое волокно. В качестве вяжущего материала применяют битум, цемент, жидкое стекло.

В производственных помещениях рекомендуется применять только звукопоглощающие материалы, которые отвечают требованиям механической прочности огнестойкости и высокой влагостойкости. Такие материалы в настоящее время выпускаются отечественной промышленностью.

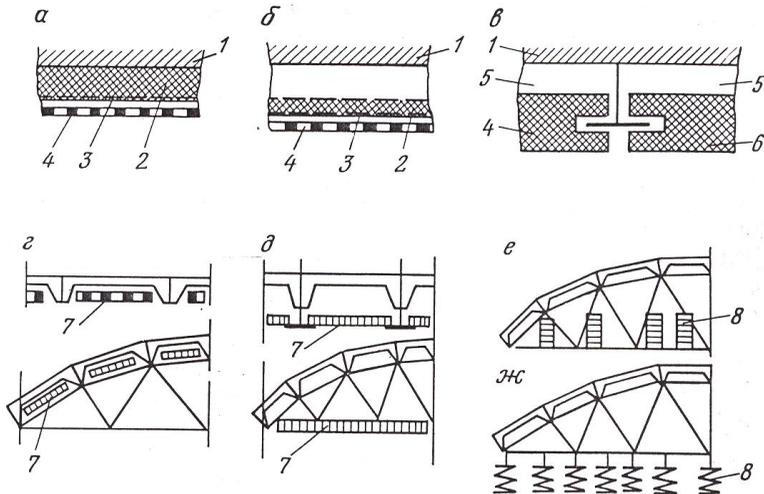


Рис. 27. Схемы размещения звукопоглощающих облицовок на потолках помещений: а — без воздушного зазора; б — с воздушным зазором; в — с использованием плит из звукопоглощающего материала; г — в плитах перекрытия; д — в виде подвесного потолка; е — в межферменном пространстве; ж — под нижним поясом ферм; 1 - защитная конструкция; 2 - защитная оболочка; 3 - звукопоглощающий материал; 4 - потолок или стена; 5 - воздушный промежуток; 6 - плита из звукопоглощающего материала; 7 - звукопоглощающие щиты; 8 - акустические балки

Наряду с жесткими звукопоглощающими плитами в звукопоглощающих конструкциях также применяют волокнистые сыпучие материалы. Для предупреждения высыпания, материала звукопоглотителя применяют «акустически» прозрачные оболочки, представляющие собой металлические сетки из проволоки толщиной 0,6 мм и с ячейками размером 1,4×1,4 мм или перфорированные металлические листы толщиной от 0,5 до 2 мм с живым-сечением перфорации не менее 30 % при диаметре отверстий от 3 до 10 мм. Конструкции с перфорированным покрытием позволяют достигнуть высокого звукопоглощения в широком диапазоне частот. Слой пористого материала размещают на отражательной поверхности помещения и закрывают перфорированным экраном.

В отдельных случаях для увеличения площади звукопоглощения в помещениях применяют штучные звукопоглотители, изготовленные из пористого материала, в виде перфорированного короба конической или кубической формы. Штучные звукопоглотители монтируют в зоне наибольшей концентрации звуковой энергии над источником шума. Штучные звукопоглотители могут быть изготовлены различных геометрических форм - в виде щитов, конусов, призм и т.д. Основными акустическими преимуществами изделий являются простота монтажа, несложность текущего ремонта. Штучные поглотители, как правило, применяют для исправления акустических характеристик промышленных помещений, где их устанавливают так, чтобы они не мешали системам освещения и распределения воздуха.

Применение метода звукопоглощения в промышленности показало, что наибольший эффект снижения шума в зонах, удаленных от наиболее шумных источников, составляет 6-8 дБ в области низких частот и 8-10 дБ – в области средних и высоких частот. Подобного эффекта можно достигнуть в помещениях, где до применения звукопоглощающих материалов средний коэффициент звукопоглощения на среднегеометрической частоте 1000 Гц не превышал 0,25.

Величина среднего коэффициента звукопоглощения может быть ориентировочно рассчитана по формуле

$$\bar{\alpha} = \sum \alpha S / S_{\text{общ}}$$

где S - площадь поверхности отдельных отражательных элементов (пола, потолка, отдельных стен и др.), м²; α - коэффициент звукопоглощения материала отдельных отражательных поверхностей; S_{общ} – общая суммарная площадь ограждающих поверхностей, м².

Эффект снижения шума за счет применения метода звукопоглощения увеличивается с уменьшением объема помещения. При

этом существенное влияние оказывает высота помещений. В помещении высотой 6-8 м оптимальным является размещение звукопоглотителей на потолке или верхних частях стен.

Применению звукопоглощающих материалов и конструкций должен обязательно предшествовать специальный расчет, которым определяется целесообразность их применения. Расчет включает определение акустических характеристик проектируемого или реконструируемого помещения и величины уровня шума в расчетных точках, которые выбирают в зонах обслуживания машин. Подлежат также определению величины требуемого снижения шума, а также Подбор типа звукопоглотителя и расчет требуемой площади выбранного звукопоглотителя и эффективность его применения.

Основные акустические расчетные характеристики – средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha}$, эквивалентная площадь звукопоглощения A (m^2), постоянная помещения B (m^2).

Эквивалентную площадь звукопоглощения и средний коэффициент звукопоглощения определяют по формулам:

$$A = B / [(B / S_{общ}) + 1]; \bar{\alpha} = B / (B + S_{общ})$$

Для производственных помещений постоянная помещения на среднегеометрических частотах октавных полос ориентировочно определяется умножением постоянной помещения на частоте 1000 Гц V_{1000} на частотный множитель μ , выбранный в соответствии с табл. 42.

Для действующих предприятий эквивалентная площадь звукопоглощения может быть определена путем измерения времени реверберации T и последующего расчета по формуле

$$A = 0.0163V/T,$$

где V – объем помещения, m^3 .

При этом величина B определяется по формуле

$$B = A / (1 - \bar{\alpha}),$$

где $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения, определяемый из соотношения

$$\bar{\alpha} = A / S_{общ}$$

Для действующих предприятий значения требуемого снижения шума $\Delta L_{тр}$ при работе оборудования определяют как разность измеренных уровней звукового давления в каждой октавной полосе частот в зонах обслуживания оборудования и предельно допустимым значениями уровня шума для рабочих мест согласно существующим нормам. Для проектируемых помещений $\Delta L_{тр}$ определяют на основании ожидаемого

уровня шума с предельно допустимыми значениями. Величину ожидаемого уровня шума при работе оборудования в зоне действия прямого и отражённого звуков определяют по формуле

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{\chi_i \Delta_i}{S_i} + \frac{4}{B_{\text{ш}}} \sum_{i=1}^m \Delta_i \right) \quad (24)$$

где $B_{\text{ш}}$ – постоянная помещения с источниками шума, м^2 ; χ_i – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние ближнего звукового поля в зависимости от отношения расстояния l_R к максимальному размеру источника шума l_{max} ; S_i – площадь воображаемой поверхности, окружающей источник шума и проходящей через выбранную расчетную точку (при $2l_{\text{max}} < l_R$, $S_{\text{общ}} = 2\pi r^2$), м^2 ; n – число источников шума, ближайших к расчетной точке; m – общее число источников шума в помещении;

$\Delta_i = 10^{0,1L_{p_i}}$ – определяют по табл. 40 по известным паспортным значениям октавных уровней звуковой мощности L_{p_i} (дБ) каждого источника шума [33].

Значения безразмерного коэффициента χ_i для различных отношений l_R/l_{max} следующие:

l_R/l_{max}	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
χ_i	4	3,7	3	2	1	1	1	1

По формуле (24) определяют ожидаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот и сравнивают их с предельно допустимыми. Разность этих значений составляет величину требуемого снижения шума в том случае, если выбранные расчетные точки находятся в зоне совместного действия прямого и отраженного звуков. Зона прямого и отраженного звуков характеризуется предельным радиусом $r_{\text{пр}}$ (расстояние, на котором значения прямого и отраженного звуков равны). Предельный радиус (м) определяют по формуле

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{B_{8000} 10^{0,1L_{p_i}} / \sum_{i=1}^m 10^{0,1L_{p_i}}}$$

где B_{8000} – постоянная помещения для частоты 8000 Гц, м^2 ; L_{p_i} – уровень звуковой мощности на частоте 8000 Гц, дБ.

Если выбранные расчетные точки находятся в зоне отражённого звука, т.е. на расстоянии от наиболее шумной машины больше, чем величина предельного радиуса $r_{\text{пр}}$, ожидаемые уровни шума определяют по формуле

$$L_{p_{\text{сум}}} - 10 \lg B + 6$$

$$L_{p_{\text{сум}}} = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1L_{p_i}}$$

где $L_{p_{\text{сум}}}$ – суммарный октавный уровень звуковой мощности всех источников шума в помещении, дБ; B – постоянная помещения, м².

На основании полученных значений требуемого снижения уровня звукового давления в каждой октаве $\Delta L_{\text{тр}}$ определяют необходимую величину дополнительных звукопоглощений $\Delta A_{\text{тр}}$, которая обеспечит требуемое снижение шума в помещении, по номограмме рис. 28. Для этого по среднему коэффициенту звукопоглощения помещения до акустической обработки α и требуемому снижению шума $\Delta L_{\text{тр}}$ по номограмме (рис. 28а) определяют коэффициент пропорциональности K . По полученной величине K и известной площади ограждающих поверхностей в помещении $S_{\text{общ}}$ определяют значения требуемого дополнительного звукопоглощения $\Delta A_{\text{тр}}$ для каждой октавной полосы частот по номограмме или по формуле

$$\Delta A_{\text{тр}} = K S_{\text{общ}}$$

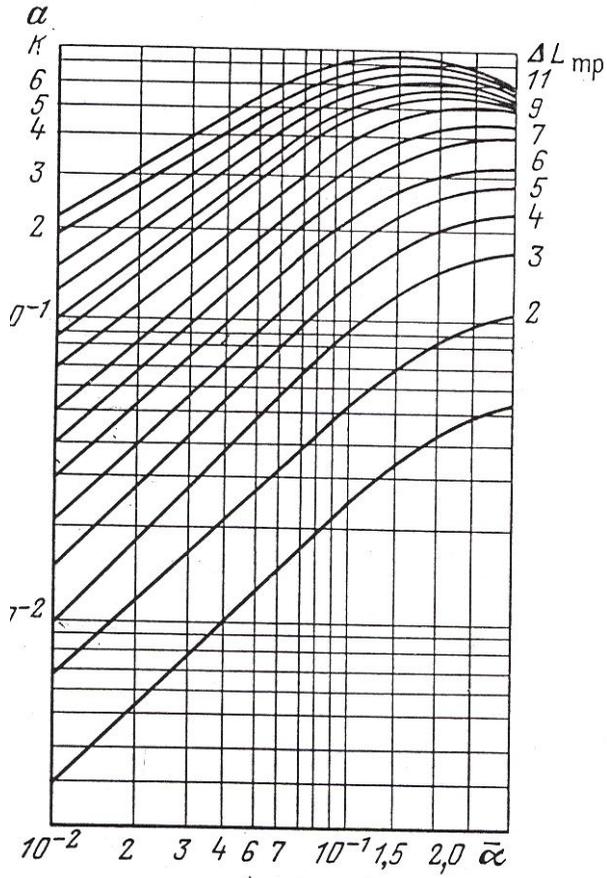
На основании сравнения полученных значений $\Delta A_{\text{тр}}$ с соответствующими коэффициентами звукопоглощения подбирается конструкция звукопоглотителя.

Требуемая площадь облицовки $S_{\text{обл}}$ выбранным звукопоглотителем рассчитывается по формуле

$$S_{\text{обл}} = \Delta A_{\text{тр}} / \alpha_0,$$

где α_0 – коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции облицовки в каждой октавной полосе частот.

Из полученных значений выбирают максимальное значение требуемой площади облицовки. Если полученное значение превышает площадь ограждающих поверхностей, которые можно облицовать, необходимо использовать штучные звукопоглотители, которые восполняют недостаточную площадь облицовки.



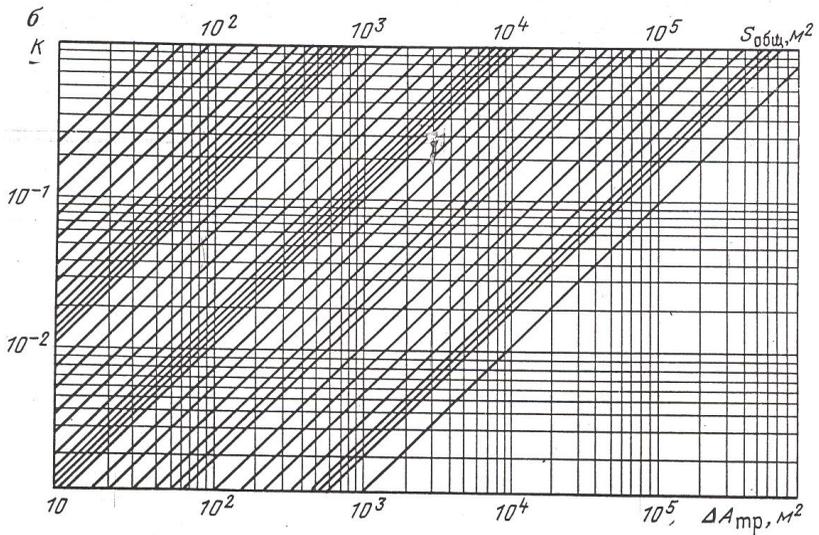


Рис. 28 Номограммы для определения коэффициента пропорциональности K по известным среднему коэффициенту звукопоглощения $\bar{\alpha}$ и требуемой величине снижения уровня звукового давления $\Delta L_{тр}$ и $\Delta A_{тр}$ по известному коэффициенту K и площади поверхности $S_{общ}$

2.7.3. Снижение шума методом звукоизоляции

Шум, распространяющийся по воздуху, может быть существенно снижен посредством устройства на его пути звукоизолирующих преград в виде стен, перегородок, перекрытий, специальных звукоизолирующих кожухов и экранов.

Сущность звукоизоляции ограждения состоит в том, что наибольшая часть падающей на него звуковой энергии отражается, и только незначительная часть его проникает через ограждение. Передача звука через ограждение осуществляется следующим образом: падающая на ограждение звуковая волна приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний воздуха в волне.

Колеблющееся ограждение становится источником звука и излучает его в изолируемое помещение.

2.7.3.1. Звукоизоляция однослойных ограждений

Звукоизолирующие ограждающие конструкции принято называть однослойными, если они выполнены из однородного строительного

материала или составлены из нескольких слоев различных материалов, жестко скрепленных между собой или из материалов с сопоставленными акустическими свойствами (например, слой кирпичной кладки и штукатурки).

Рассмотрим характеристику звукоизоляции однослойного ограждения в трех частотных диапазонах.

R дБ

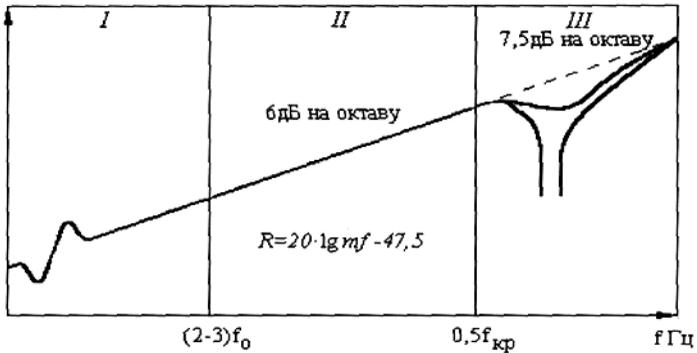


Рис. 29 Частотная характеристика звукоизоляции однослойного ограждения

При низких частотах порядка 20-63 Гц (1) звукоизоляция ограждения определяется возникающими в нем резонансными явлениями. Области резонансных колебаний ограждений зависят от жесткости и массы ограждения, свойств материала. Как правило, собственная частота большинства строительных однослойных ограждений ниже 50 Гц.

Однако определение звукоизоляции в этом диапазоне не имеет принципиального значения, так как нормирование уровней звукового давления начинается с частоты 63 Гц.

На частотах, в 2—3 раза превышающих собственную частоту ограждения (диапазон 2), звукоизоляция определяется массой единицы площади ограждения:

$$R = 20 \lg mf - 47,5 ,$$

где R - звукоизоляция, дБ; m - масса 1 м^2 ограждения; f - частота звука.

В частотном диапазоне 2 звукоизоляция зависит только от массы и частоты падающих звуковых волн.

Здесь звукоизоляция возрастает на 6 дБ при каждом удвоении массы ограждения или частоты звука (т.е. 6 дБ на каждую октаву).

В частотном диапазоне 2 проявляется пространственный резонанс ограждения, при котором звукоизоляция резко уменьшается. Начиная с некоторой частоты звука $f > 0,5f_{кр}$, амплитуда колебаний ограждения резко

возрастает. Это явление происходит вследствие совпадения частоты вынужденных колебаний (частоты падающей звуковой волны) с частотой колебания ограждения.

Наименьшую частоту звука, при которой становится возможным явление волнового совпадения, называют критической ($f_{кр}$):

$$f_{кр} = \left(\frac{20000}{h} \right) \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

где h — толщина ограждения, см; ρ — плотность материала, кг/м³; E — динамический модуль упругости материала ограждения, МПа.

На частоте звука выше критической существенное значение приобретают жесткость ограждения и внутреннее трение в материале. Рост звукоизоляции при $f > f_{кр}$ приближенно составляет 7,5 дБ при каждом удвоении частоты.

Приведенное выше значение собственной звукоизолирующей способности ограждения показывает, на сколько децибел снижается уровень шума за преградой.

Принцип звукоизоляции практически реализуется путем устройства звукоизолирующих стен, перекрытий, кожухов, кабин наблюдения. Звукоизолирующие строительные перегородки снижают уровень шума в смежных помещениях на 30-50 дБ. Требуемую звукоизоляцию воздушного шума стенками кожуха в октавных полосах определяют по формуле: дБ

$$R_{mp} = L - L_{доп} - 101ga_{обл} + 5,$$

где L — октавный уровень звукового давления (по результатам измерений), дБ; $L_{доп}$ — допустимый октавный уровень звукового давления на рабочих местах (по ГОСТ 12.1.003—83), дБ; $a_{обл}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения внутренней облицовки кожуха, определяемый по СНиП 11—12—77 (прил. 2).

2.7.3.2. Звукоизоляция многослойных ограждений

Для уменьшения массы ограждений и повышения их звукоизолирующей способности часто применяют многослойные ограждения. Пространство между слоями заполняется пористо-волокнистыми материалами или оставляется воздушный промежуток шириной 40-60 мм. На звукоизоляционные качества многослойного ограждения влияют масса слоя ограждения m_1 , и m_2 , жесткость связей K , толщина воздушного промежутка или слоя пористого материала.

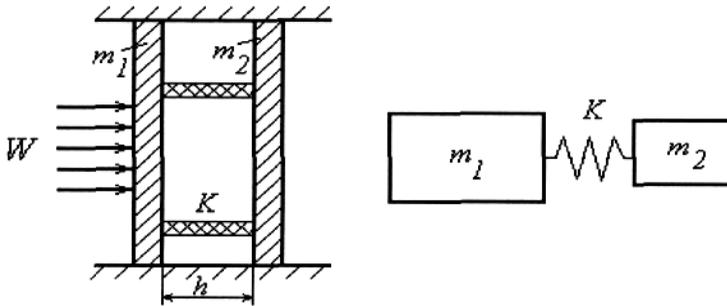


Рис. 30 Многослойное звукоизолирующее ограждение

Под действием переменного звукового давления первый слой начинает колебаться, и эти колебания передаются упругому материалу, заполняющему промежуток между слоями. Благодаря виброизолирующим свойствам заполнителя колебания второго слоя ограждения будут значительно ослаблены, а следовательно, и шум, возбуждаемый колебаниями второго слоя преграды, будет существенно снижен.

Практически звукоизоляция двойного ограждения составляет ~60 дБ.

Правильный выбор звукоизолирующих конструкций обеспечивает необходимое снижение шума до допустимых норм во всех октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Величина требуемого снижения $\Delta L_{тр,i}$ рассчитывается отдельно для каждой i -й ограждающей конструкции (стены, перегородки, окна, перекрытия, двери и т.д.).

При передаче шума из помещения с источниками шума в смежное изолируемое помещение, величина требуемого снижения определяется по формуле

$$R_{mp,i} = L_{P_{ссу}} - L_{доп} - 101gB_{ш} - 101gB_n + 101gS_i + 101gn + 6,$$

где $L_{P_{ссу}}$ — измеренный или рассчитанный (согласно СНиП II—12—77), октавный уровень звукового давления от всех источников, дБ, (суммарный октавный уровень звуковой мощности от всех источников шума в помещении); $L_{доп}$ — допустимый по нормам октавный уровень звукового давления в расчетной точке (согласно ГОСТ 12.1.003—83); $B_{ш}$ и B_n — постоянная шумного помещения и изолируемого помещения соответственно; S_i — площадь i -той ограждающей конструкции (перегородки) изолируемого помещения, m^2 ; n — число ограждающих конструкций, через которые шум проникает в изолируемое помещение.

Постоянную помещения V , m^2 , в октавных полосах частот определяют по формуле

$$V = V_{1000} \cdot \mu,$$

где V_{1000} — постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая по табл. 3 СНиП II—12—77, в зависимости от объема V m^3 и типа помещения m^2 ; μ — частотный множитель, определяемый по табл. 4 СНиП II—12—77.

2.3. Расчет индекса звукоизоляции воздушного шума

Защиту от шума строительными-акустическими методами следует проектировать на основании акустического расчета и предусматривать для снижения уровня шума:

- а) применение звукоизоляции ограждающих конструкций;
 - уплотнение периметра притворов окон, ворот, дверей;
 - звукоизоляцию мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями;
 - устройство звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления;
 - укрытий, кожухов и т.д.;
- б) применение звукопоглощающих конструкций и экранов;
- в) применение глушителей шума, звукопоглощающих облицовок в газовоздушных трактах вентиляционных систем с механическим побуждением и систем кондиционирования воздуха;
- г) осуществление планировки и застройки жилой территории городов и других населенных пунктов в соответствии со СНиП II—12—77,
- д) а также применением звукоотражающих экранов и зеленых насаждений.

2.7.3.3. Определение индекса изоляции воздушного шума

Нормируемыми параметрами звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий являются: индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией J_B (дБ) и индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием J_Y (дБ).

Индекс изоляции воздушного шума J_B в дБ, ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяется по формуле где Δv — поправка, определяемая путем сравнения частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией с нормативной частотной характеристикой изоляции воздушного шума по методике, изложенной в прил. 1 к СНиПу 2—12—77.

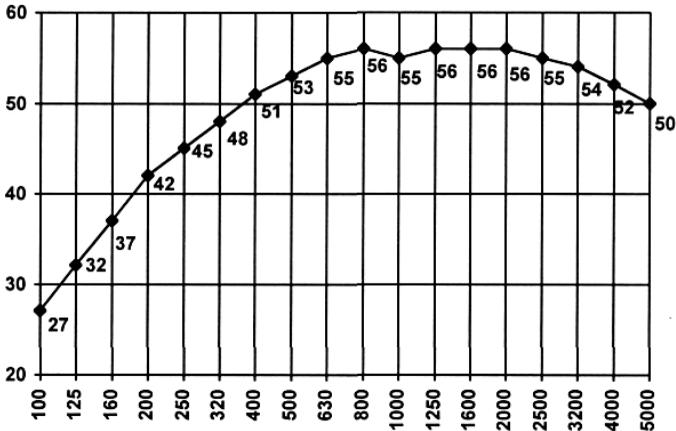


Рис. 31 Нормативная частотная характеристика изоляции

Нормативные индексы изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями J_B , дБ, жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий следует принимать по табл. 7 СНиП II—12—77.

Нормируемыми параметрами звукоизоляции ограждающих конструкций производственных зданий, а также ограждающих конструкций, отделяющих защищаемые от шума помещения от помещений с источниками шума, не характерными для помещений, перечисленных в табл. 7 СНиП II—12—77 в других зданиях различного назначения, являются величины изоляции воздушного шума R_{TR} , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Требуемую изоляцию воздушного шума R_{TPi} , дБ, ограждающей конструкцией в октавной полосе частот следует определять:

а) при проникновении шума из одного помещения в другое по формуле

$$R_{mp\ i} = L_{ш} - L_{доп} - 10 \lg B_u + 10 \lg S_i + 10 \lg n,$$

где $L_{ш}$ — октавный уровень звукового давления в не защищаемом от шума помещении, дБ; B_u — постоянная защищаемого от шума помещения m^2 , определяемая по формуле

$$B_u = V_{1000} \times \mu$$

V_{1000} — постоянная помещения, m^2 , на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая по табл. 3 СНиП II—12—77 в зависимости от объема V m^3 и типа помещения; μ — частотный множитель, определяемый по табл. 4 СНиП II—2—77; S_i — площадь ограждающей

конструкции (или отдельного ее элемента), через которую проникает шум в защищаемое от шума помещение, m^2 ; $L_{доп}$ — допустимый октавный уровень звукового давления в дБ в защищаемом от шума помещении, определяемый согласно таблиц ГОСТ 12. 1. 003—83 и СНиП II—12—77; n — общее количество ограждающих конструкций или их элементов, через которые проникает шум;

б) при проникновении шума из помещений на прилегающую территорию (в атмосферу) по формуле

$$R_{ТРi} = L_{ш} + 10 \lg S_i - 15 \lg r_i - L_{донТ} + 10 \lg n - 11 ,$$

где $L_{донТ}$ — допустимый октавный уровень звукового давления дБ на прилегающей территории (ГОСТ 12. 1. 003- 83 и СНиП II—12—77); $L_{ш}$ и n — то же, что в формуле (см. пункт а); S_i — площадь рассматриваемой ограждающей конструкции (или отдельного ее элемента), через которую проникает шум, m^2 ; r_i — расстояние от ограждающей конструкции или ее элемента до расчетной точки, м;

в) при проникновении шума с прилегающей территории в помещение по формуле

$$R_{ТРi} = L_{нар} + 10 \lg S_i - 10 \lg B_u + 6 - L_{дон} + 10 \lg n ,$$

где $L_{нар}$ — суммарный октавный уровень звукового давления, дБ, от всех источников шума в 2 м от рассматриваемой ограждающей конструкции, определяемой по табл. 5 СНиП II—12—77.

Остальные обозначения те же, что в пункте а.

2.7.3.4. Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций

Расчет звукоизоляции должен производиться при проектировании новых ограждающих конструкций. Окончательная оценка звукоизоляции ограждающих конструкций новых типовых проектов зданий должна даваться на основании натуральных испытаний ограждающих конструкций экспериментальных зданий.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской ограждающей конструкцией поверхностной плотностью от 100 до 1 000 кг/м из бетона, железобетона, кирпича, керамических блоков и других строительных материалов определяют графическим способом, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной ломаной линии ABCD на рис. 32.

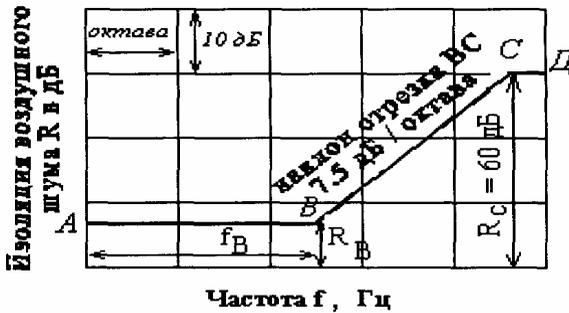


Рис. 32 Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением.

Координаты точки В (f_B и R_B) частотной характеристики следует определять по графикам рис. 9 СНиП II—12—77, где f_B - в зависимости от толщины h , м, ограждающей конструкции.

а) R_B в зависимости от поверхностной плотности t в кг/м^2 ограждающей конструкции.

Поверхностной плотностью t условно названа масса 1 м^2 ограждающей конструкции.

Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума производится следующим образом: из точки В влево проводится горизонтальный отрезок АВ, а от точки В вправо проводится отрезок ВС с наклоном $7,5 \text{ дБ}$ на октаву до точки С с ординатой $R_C = 60 \text{ дБ}$, из точки С вправо проводится горизонтальный отрезок CD.

Индекс изоляции воздушного шума J_B , дБ, ограждающей конструкцией определяют следующим образом:

1. На нормативную частотную характеристику (рис. 31) наносится частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждения (рис.32).

2. Определяется поправка Δ_B по методике, изложенной в приложении СНиП II—12—77.

3. Установленную поправку подставляют в формулу и рассчитывают I_B .

При ориентировочных расчетах индекс изоляции воздушного шума однослойными ограждающими конструкциями из бетона, железобетона, кирпича, керамических блоков допускается определять по формулам:

$$J_B = 23 \lg m_s - 10 \text{ дБ} \quad \text{при } m \geq 200 \text{ кг/м}^2;$$

$$J_B = 13 \lg m_s + 13 \text{ дБ} \quad \text{при } t \leq 200 \text{ кг/м}^2;$$

где $\tau_0 = K\tau$ — эквивалентная поверхностная плотность в $\text{кг}/\text{м}^2$; τ — поверхностная плотность, $\text{кг}/\text{м}^2$; K — коэффициент:

— для сплошной ограждающей конструкции плотностью более $1800 \text{ кг}/\text{м}^3$ $K=1$;

— для ограждающих конструкций плотностью $1200\text{-}1300 \text{ кг}/\text{м}^3$ из бетона $K=1,25$.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума в децибелах однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией из металла, стекла и других материалов следует определять графическим способом, изображая ее в виде ломаной кривой, построенной аналогично ломаной линии ABCD на рис. 33.

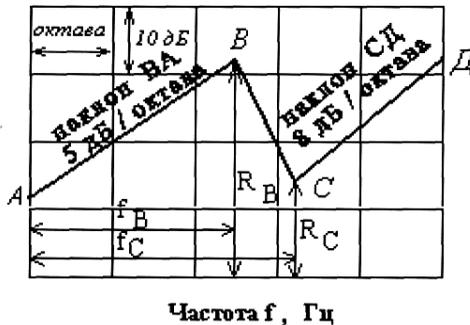


Рис. 33 Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением из металла или стекла

Координаты точек B и C следует определять по табл. 8 СНиП II—12—77. Наклон отрезка BA на графике следует принимать равным 5 дБ на каждую октаву для глухих однослойных ограждающих конструкций из органического и силикатного стекла и 4 дБ - на каждую октаву для ограждающих конструкций из других материалов.

2.8. Классификация и действия вибрации на организм человека

Вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле. При воздействии вибрации на организм важную роль играют анализаторы ЦНС — вестибулярный кожный и другие аппараты.

Длительное воздействие вибрации ведет к развитию профессиональной вибрационной болезни. Вибрация, воздействуя на машинный компонент системы ЧМ (человек—машина), снижает производительность технических установок (за исключением

специальных случаев) и точность считываемых показаний приборов, вызывает знакопеременные приводящие к усталостному разрушению напряжения в конструкции и т.д.

Вибрации могут быть непреднамеренными (например, из-за плохой балансировки и центровки вращающихся частей машин и оборудования, пульсирующего движения жидкости, работы перфоратора) и специально используемые в технологических процессах (вибропогружатели свай, вибрационное оборудование для производства железобетонных конструкций и укладки бетона, специальное оборудование для ускорения химических реакций и т.п.). Вибрации характеризуются частотой и амплитудой смещения, скоростью и ускорением.

Особенно вредны вибрации с вынужденной частотой, совпадающей с частотой собственных колебаний тела человека или его отдельных органов (для тела человека 6...9 Гц, головы 6 Гц, желудка 8 Гц, других органов — в пределах 25 Гц).

Частотный диапазон расстройств зрительных восприятий лежит между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок.

При работе строительных машин и технологических процессов существуют горизонтальные и вертикальные толчки и тряска, сопровождающиеся возникновением периодических импульсных ускорений. При частоте колебаний от 1 до 10 Гц предельные ускорения равны 10 мм/с, являются неощутимыми, 40 мм/с — слабоощутимыми, 400 мм/с — сильно ощутимыми и 1000 мм/с — вредными.

Низкочастотные колебания с ускорением 4000 мм/с — непереносимые.

Вибрация по способу передачи телу человека подразделяется на общую (воздействие на все тело человека) и локальную (воздействие на отдельные части тела — руки или ноги).

Общую вибрацию по источнику ее возникновения и возможности регулирования ее интенсивности оператором подразделяют на следующие категории (ГОСТ 12.1.012—90 Вибрационная безопасность. Общие требования):

Категория 1 — транспортная вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрофону и дорогам, в том числе при их строительстве; при этом оператор может активно, в известных пределах, регулировать воздействия вибрации.

Категория 2 — транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека-оператора на рабочих местах машин с ограниченной подвижностью при перемещении их по специально подготовленным поверхностям производственных помещений,

промышленных площадок и горных выработок; при этом оператор может лишь иногда регулировать воздействие вибрации.

Категория 3а — технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Категория 3б — вибрация на рабочих местах работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом. К ней относятся рабочие места на промышленных кранах, у станков металло- и деревообрабатывающих, кузнечно-прессового оборудования, литейных машин и другого стационарного технологического оборудования.

Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов, которые начинаются с концевых фаланг пальцев рук и распространяются на всю кисть, предплечье, захватывают сосуды сердца. Диапазон частот 35...250 Гц является наиболее критическим для развития вибрационной болезни.

Локальная вибрация по источнику возникновения подразделяется на:

- передающуюся от ручных машин (с двигателями), органов ручного управления машин и оборудования;
- передающуюся от ручных инструментов (без двигателей) и обрабатываемых деталей.

При гигиенической оценке двух видов вибрации следует иметь в виду, что санитарно-гигиенические требования и правила в первом случае включаются в техническую документацию на машины и оборудование, а во втором — в документацию на технологию проведения работ.

Вибрация рабочих мест операторов транспортных средств и оборудования носит преимущественно низкочастотный характер с высокими уровнями в октавах 1...8 Гц и зависит от технологической операции, скорости передвижения, типа сиденья, виброзащиты, степени изношенности машины, профиля дорог и т.д. Характер спектров широкополосный, при этом максимум энергии лежит в диапазоне 1...2 Гц; 4...8 Гц. На операторов транспортных средств обычно воздействует переменная по уровням и спектрам вибрация, включающая микро- и макропаузы, причем операторы имеют возможность (в известных пределах) регулировать вибрационную экспозицию. Спектры вибраций рабочих месте технологического оборудования носят низко- и среднечастотный характер с максимумом энергии в октавах 4...16 Гц.

Благодаря наличию мягких тканей, костей, суставов, внутренних органов и особенностей конфигурации, тело человека представляет собой сложную колебательную систему, первичная механическая реакция которой на вибрационное воздействие зависит от диапазона частот, предопределяя последующие физиологические эффекты.

Для санитарного нормирования и контроля вибраций используются» среднеквадратичные значения виброускорения и виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах (ГОСТ 12.1.012—90).

Для измерения вибрации применяются виброметры и шумомеры с дополнительным приспособлением — предусилителем, устанавливаемым вместо микрофона. Широкое распространение получили приборы ВШВ-3М2 — измерители шума и вибраций.

2.9. Методы и средства коллективной защиты от вибрации

Классификация методов и средств защиты от вибрации представлена на рис. 4.15.

Виброизоляцией называется уменьшение степени передачи вибрации от источника к защищаемым объектам.

Виброизоляцию можно оценивать через коэффициент передачи

$$K_n = 1 / f / f_0 - 1$$



Рис. 34 Классификация методов и средств защиты от вибрации

где f и f_0 — частота возмущающей силы и собственная частота системе при наличии виброизолирующего слоя (Гц).

Эффективность виброизоляции определяется по формуле:

$$B_L = 2011g L / K_n$$

Чем выше частота возмущающей силы по сравнению с собственной, тем больше виброизоляция. При $f < f_0$ возмущающая сила целиком передается основанию. При $f = f_0$ происходит резонанс и резкое

усиление вибрации, а при $f > 2f_0$ обеспечивается виброизоляция, пропорциональная коэффициенту передачи.

Собственная частота системы

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{q(m)} = 1/2\pi\sqrt{g(x)},$$

где q — жесткость виброизолятора; g — ускорение свободного падения; x — статическая осадка виброизолятора под воздействием собственной массы.

Виброизоляция используется при виброзащите от действия напольных и ручных механизмов. Компрессоры, насосы, вентиляторы, станки могут устанавливаться на амортизаторы (резиновые, металлические или комбинированные) или упругие основания в виде элементов массы и вязкоупругого слоя. Для ручного инструмента наиболее эффективна многосвязная система виброизоляции, когда между рукой и инструментом проложены слои с различной массой и упругостью.

Выбор гашения вибрации осуществляется за счет активных потерь или превращения колебательной энергии в другие ее виды, например в тепловую, электрическую, электромагнитную. Виброгашение может быть реализовано в случаях, когда конструкция выполнена из материалов с большими внутренними потерями; на ее поверхность нанесены вибропоглощающие материалы; используется контактное трение двух материалов; элементы конструкции соединены сердечниками электромагнитов с замкнутой обмоткой и др.

2.10. Расчет виброизоляции рабочих мест

Виброизоляция заключается в установке между вибрирующими узлами машины и строительными конструкциями элементов, способных уменьшить передачу вибраций на пути их распространения. Эти элементы представляют собой как бы акустический фильтр, роль которого играют различного рода виброизоляторы.

Виброизолирующие материалы должны отвечать трем основным требованиям:

- обладать малым динамическим модулем упругости;
- обладать механической прочностью;
- обладать долговечностью.

Амортизаторы должны обладать также достаточным внутренним трением, стойкостью к воздействию давления, температуры, влажности и к воздействию агрессивных сред.

Конструктивно виброизоляторы подразделяются на резиновые амортизаторы, стальные пружины и пневматические амортизаторы.

При установке виброизоляторов любого типа центр их жесткости и центр тяжести нагрузки должны находиться на одной вертикали. Центр жесткости виброизолятора — это точка, через которую проходит равнодействующая реакция всех виброизоляторов при одинаковой их деформации.

Эффективность виброизоляции принято характеризовать коэффициентом передачи на основании R_{Π} , который показывает, какая доля динамической силы, действующей со стороны машины, передается через виброизоляторы:

$$R_{\Pi} = \frac{F_d}{F_a} = \left[\left(\frac{f}{f_c} \right)^2 - 1 \right]^{-1},$$

где F_d и F_a — амплитуда динамической силы, соответственно передающейся через виброизолятор на основание и воздействующей на изолируемую от основания машину, м; f и f_c — частота вынуждающей силы и собственных вертикальных колебаний установки соответственно, Гц.

При разработке виброизолирующего основания для машины необходимо, чтобы масса вибрирующей установки m_y , кг, соответствовала бы следующей зависимости:

$$m_y \geq 2.5\varepsilon \cdot \frac{m_{вр.ч.}}{m_{дон}}$$

где ε — эксцентриситет вращающихся частей (принимается $0,2 \cdot 10^{-3}$ – $0,4 \cdot 10^{-3}$ при динамической балансировке и $1,5 \cdot 10^{-3}$ при статической балансировке вращающихся частей; $m_{вр.ч.}$ — масса вращающихся частей, кг; $a_{доп}$ — максимально допустимая амплитуда смещения установки, м ($a_{доп}=0,2 \cdot 10^{-3}$ м при частоте вращения 900 — 1500 мин^{-1} и $0,25 \cdot 10^{-3}$ при частоте вращения 400 — 600 мин^{-1}).

Если масса системы, включающей машину, раму и электродвигатель, меньше требуемой, ее увеличивают, например, заливкой рамы бетоном.

В общем случае вибрирующее основание под оборудованием должно обеспечивать снижение структурного шума на следующие величины (дБ).

Вентиляторы с частотой вращения, мин^{-1} :

более 800	26;
500—800	20-26;
350—500	17-20;
20—350	11-17;
центробежные насосы	26.

2.10.1. Расчет стальных пружинных амортизаторов

Расчет и подбор стальных пружинных амортизаторов производится в следующей последовательности:

1. Определяют статическую нагрузку на одну пружину, Н;

$$P_{CT} = \frac{m_y \cdot 10}{n \cdot n_n}$$

где t_y — общая масса установки, кг; n — число амортизаторов; n_n — число пружин в одном амортизаторе.

2. Рассчитывают максимальную рабочую нагрузку на пружину, Н:

$$P_{\max \text{ расч.}} = \frac{P_{CT} + 1,5 \cdot 4\pi^2 \cdot f^2 \cdot \alpha_{\text{дан}} \cdot P_{CT}}{10q}$$

3. Далее вычисляют требуемую суммарную жесткость $k_{z\text{тp}}$ виброизоляторов в вертикальном направлении:

$$k_{z\text{тp}} = \frac{4\pi^2 \cdot f_c^2 \cdot m}{q}$$

4. Определяют требуемую жесткость $k_{\text{тp}}$ пружины в продольном направлении:

$$k_{\text{тp}} = \frac{k_{z\text{тp}}}{n \cdot n_n}$$

5. Тип виброизоляторов выбирают согласно расчету с соблюдением следующих требований:

$$P_{\max} \geq P_{\max \text{ расч.}}; \quad k_{z \text{ тp}} \leq k_{\text{тp}}$$

2.10.2. Расчет резиновых амортизаторов

Расчет резиновых амортизаторов сводится к определению их размеров и их числа при принятых характеристиках резины. Расчет производится в следующей последовательности:

1. Зная частоту вынужденной системы

$$f = \frac{n}{60}$$

2. Находят собственную частоту

$$f_c = \frac{f}{n_n}$$

где n_n — принимают по графику (76 б), исходя из величины требуемого снижения вибраций.

По графику (76 г) определяют статическую осадку амортизаторов $x_{ст}$, соответствующую выбранным величинам и сорту резины.

3. Статический E_c и динамический E_d модули упругости резины при сжатии в зависимости от ее твердости определяют в соответствии с рис. 76 в.

4. Затем вычисляют необходимую суммарную площадь амортизаторов, m^2 ;

$$S = \frac{\theta}{\tau},$$

где θ — масса конструкции, кг; τ — расчетное статическое напряжение в резине, Па (принимается 10^5 – $3 \cdot 10^5$ Па при твердости резины по Шору до 40; для резины большой твердости — $3 \cdot 10^5$ – $5 \cdot 10^5$ Па).

Задаются числом амортизаторов и определяют площадь каждого, m^2 ;

$$S_1 = \frac{S}{n},$$

при этом размер сторон амортизатора составляет $B = \sqrt{S_1}$

Рабочую H и полную H_0 высоты амортизаторов определяют по следующим формулам:

$$H = \frac{x_{cm} \cdot E_c}{\sigma} \qquad H_0 = H - \frac{B}{8}$$

Если $H_0 > 1,2B$ или $H < B/8$, изменяют число амортизаторов или сорт резины и производят повторный расчет.

Тест

1. Где больше скорость распространения звука?

- В стали;
- В морской воде;
- В воздухе.

2. Если на пути своего распространения волна встречает препятствие или отверстия и щели небольшой величины по сравнению с длиной волны, то волна:

- Отражается от препятствия или рассеивается;
- Огибает препятствие и проходит через отверстия и щели;
- Отражается от препятствия и проходит через отверстия и щели.

3. Что такое децибел?

а). Десятичный логарифм отношения измеренной величины к выбранной пороговой величине;

б). Десятичный логарифм отношения максимальной измеренной величины к выбранному эталону сравнения;

в). Десятичный логарифм отношения средней измеренной величины к выбранной пороговой величине.

4. Болевой порог восприятия звука начинается со значения уровня звукового давления:

а). 110 дБ;

б). 120 дБ;

в). 130 дБ.

5. При суммировании шума ряда неодинаковых источников, шумом более слабого источника можно пренебречь, если разность составляет:

а). 8 дБ;

б). 10 дБ;

в). 12 дБ

6. Нижняя и верхняя граница восприятия человеком звуковых колебаний составляет (Гц):

а). 45/18000;

б). 20/20000;

в). 16/16000.

7. Октавная полоса частот - это полоса частот в которой верхняя граничная частота больше нижней граничной частоты:

а), в 1,5 раза;

б), в 3 раза;

в), в 2 раза.

8. Если максимум звукового давления находится на частоте 500 Гц, то характер спектра:

а). Низкочастотный;

б). Среднечастотный;

в). Высокочастотный.

9. По временным характеристикам шума подразделяются:

а). Постоянные и колеблющиеся во времени шумы;

б). Постоянные и непостоянные шумы;

в). Непостоянные и прерывистые шум

10. Санитарно-гигиеническое нормирование шума заключается:

- а). В исключении возможности влияния шума на организм человека;
- б). В предотвращении возможности влияния шума на организм человека посредством ограничения его уровней до допустимых пределов, так и длительности пребывания человека в условиях интенсивного шума;
- в). В предотвращении возможности влияния шума на организм человека посредством ограничения длительности пребывания человека в условиях интенсивного шума.

11. Средства коллективной защиты от шума по отношению к источнику возбуждения шума подразделяются на:

- а). Средства снижающие шум в источнике его возникновения и средства снижающие звукоизлучающую способность источника;
- б). Средства снижающие шум на пути распространения и средства снижающие шум в источнике возникновения;
- в). Средства снижающие шум на пути его распространения и средства снижающие возбуждения

Вопросы для повторения

1. Основные характеристики шума.
2. Источники шума.
3. Влияние шума на организм человека.
4. Санитарно-гигиеническое нормирование шума.
5. Классификация шумов по временным характеристикам.
6. Спектр шума. Основные полосы частот.
7. Определение параметров шума на рабочих местах.
8. Методы и приборы измерения шума.
9. Определение шумовых характеристик машин.
10. Средства и методы защиты от шума.
11. Снижение структурного шума.
12. Снижение шума методом звукоизоляции
13. Снижение шума методом звукопоглощения.
14. Снижение шума в источнике возникновения.
15. Средства индивидуальной защиты от шума.

РАЗДЕЛ III ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

3.1. Видимая область электромагнитного излучения

Наиболее важной областью оптического спектра электромагнитных излучений является видимый свет (излучение с длиной волны от 0,38...0,4 до 0,75...0,78 мкм). Он обеспечивает зрительное восприятие, дающее около 90 % информации об окружающей среде, влияет на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на работоспособность и самочувствие человека. Оптимальные параметры видимого света по интенсивности, спектральному составу и режиму освещения зависят от требований организма к условиям конкретной деятельности, а также характера и интенсивности одновременно воздействующих факторов среды — акустических, цветовых, пространственно-планировочных и др.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет зрительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождаются снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. К таким же последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает механизм сумеречного зрения. Воздействий чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты катаракты и другие нарушения.

3.2. Характеристики освещения и световой среды

Существуют два источника света — это Солнце (естественное освещение) и искусственные источники, созданные человеком. Основные искусственные источники света, применяемые ныне, — электрические источники, прежде всего лампы накаливания и газоразрядные лампы. Источник света излучает энергию в виде электромагнитных волн, имеющих различные длины. Человек воспринимает электромагнитные волны как свет только в диапазоне от 0,38 до 0,76 мкм.

Освещение и световая среда характеризуется следующими параметрами.

Световой поток (Φ) — часть электромагнитной энергии, которая излучается источником в видимом диапазоне. Поскольку световой поток — это не только физическая, но и физиологическая величина, так как характеризует зрительное восприятие, для него введена специальная единица измерения люмен (лм).

Сила света (I). Так как источник света может излучать свет ~ по различным направлениям неравномерно, вводится понятие силы света как отношения величины светового потока, распространяющегося от источника света в некотором телесном угле W , измеряемом встерадианах (ср), к величине этого телесного угла

$$I = \Phi / W.$$

Единица силы света — кандела (кд) — это световой поток в люменах (лм), испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср (лм/ср). Телесный угол определяется отношением площади S , вырезаемой им из сферы произвольного радиуса R , к квадрату последнего:

$$W = S / R^2.$$

Полный телесный угол пространства, окружающего точку, равен 4π ср, телесный угол каждой из полусфер (верхней и нижней) равен 2π ср.

Солнце и искусственные источники света — это первичные источники светового потока, т.е. источники, в которых генерируется электромагнитная энергия. Однако существуют вторичные источники — это поверхности объектов, от которых свет отражается.

Коэффициентом отражения (r) называется доля светового потока $\Phi_{\text{Пал}}$, падающего на поверхность, которая отражается от нее.

$$r = \Phi_{\text{отр}} / \Phi_{\text{пад}}$$

Величина же светового потока, отраженного поверхностью предмета $\Phi_{\text{отр}}$ и распространяющегося в некотором телесном угле W , отнесенная к величине этого угла и площади S отражающей поверхности, называется яркостью (L) объекта. По сути — это сила света, излучаемая поверхностью, отнесенная к площади этой поверхности

$$L = \Phi_{\text{отр}} / (WS); L = I / S.$$

Яркость измеряется в кд/м².

Зрительное восприятие в основном определяется яркостью L равномерно светящейся плоской поверхности площадью 1 м² в перпендикулярном к ней направлении при силе света 1 кд. В общем случае яркость определяется по уравнению

$$L = L_0 / \{S \cos \alpha\},$$

где α — угол, под которым рассматривается поверхность.

Чем больше яркость объекта, тем больший световой поток от него поступает в глаз и тем сильнее сигнал, поступающий от глаза в зрительный центр. Таким образом, казалось бы, чем больше яркость, тем лучше человек видит объект. Однако это не совсем так. Если поверхность (фон), на которой располагается объект, имеет близкую к объекту по величине яркость, то интенсивность засветки участков сетчатки световым потоком, поступающим от фона и объекта, одинакова (или слабо различается), величина поступающих в мозг сигналов одинакова, и объект на фоне становится неразличимым.

Чтобы объект был хорошо виден, яркости объекта и фона должны различаться. Разница между яркостями объекта L_0 и фона L_ϕ , отнесенная к яркости фона, называется контрастом

$$K = \left| L_0 - L_\phi \right| / L_\phi$$

Величина контраста берется по модулю.

Если объект резко выделяется на фоне (например, черная линия на белом листе), контраст считается большим, при среднем контрасте объект и фон заметно различаются по яркости, при малом контрасте объект слабо заметен на фоне (например, линия бледно-желтого цвета на белом листе). При $K < 0,2$ контраст считается малым, при $K = 0,2 \dots 0,5$ контраст средний, а при $K > 0,5$ — большим.

Величина яркости объекта тем больше, чем больше коэффициент отражения и падающий на поверхность световой поток.

Световые свойства поверхностей характеризуются коэффициентами отражения ρ , пропускания τ и поглощения α , причем во всех случаях $\rho + \tau + \alpha = 1$. Указанные коэффициенты — это доля светового потока, которая соответственно отражается, пропускается или поглощается поверхностью.

Для характеристики интенсивности светового потока, падающего на поверхность от источника света, введена величина, получившая название освещенности.

Освещенность — это отношение падающего на поверхность светового потока $\Phi_{\text{пад}}$ к величине площади этой поверхности S

$$E = \Phi_{\text{пад}} / S$$

Измеряется освещенность в люксах (лк) — лм/м. Освещенность поверхности не зависит от ее световых свойств.

Таким образом, чем больше освещенность и контраст, тем лучше виден объект, а следовательно, меньше нагрузка на зрение. Следует обратить внимание на то, что слишком большая яркость отрицательно воздействует на зрение. Как правило, большая яркость связана не со слишком большой освещенностью, а с очень большими коэффициентами отражения (например, зеркальным отражением). При большой яркости

имеет место слишком интенсивная засветка сетчатки, и разлагающийся светочувствительный материал не успевает восстанавливаться (регенерироваться) — возникает явление ослепленности. Такое явление, например, возникает, если смотреть на раскаленную нить лампы накаливания, обладающей большой яркостью.

Поверхности, яркость которых в отраженном или пропущенном свете одинакова во всех направлениях, называются диффузными. Для таких поверхностей имеют место соотношения:

$$L_a = I_0 \cos \alpha = L S \cos \alpha;$$

$$\Phi = I_0 \pi = L S \pi;$$

$$L = E \tau / \pi \text{ или } L = E \tau l.$$

Здесь I_0 — сила света в направлении нормали к поверхности; I_a — то же, под углом α к нормали; α — угол между данным направлением и нормалью к поверхности.

Близки по свойствам к диффузным поверхностям и приравняются к последним в отраженном свете матовые поверхности бумаги, ткани, дерева, побеленные поверхности, штукатурка, в пропущенном свете — только молочные стекла.

Зависимость силы света I_a от меридионального угла α задается или в табличной форме или в виде кривой силы света, т.е. геометрического места концов отрезков, изображающих в принятом масштабе значения силы света в различных направлениях.

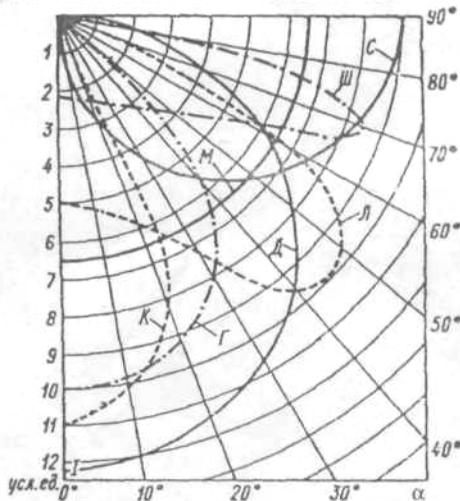


Рис. 35 Типовые кривые силы света: Г — глубокая; Д — косинусная; К — концентрированная; Л — полуширокая; М — равномерная; С — синусная; Ш — широкая

Излучатели, у которых кривые силы света одинаковы для всех меридиональных углов, называются круглосимметричными.

Для разного рода расчетов удобно пользоваться аналитическим выражением зависимости $I_a = f(\alpha)$. Так, светораспределение диффузной плоской поверхности любой формы, а также плоского выходного отверстия светильников с диффузными отражателями описывается первой зависимостью из приведенных выше трех формул.

Светораспределение диффузного шара или математической точки

$$I_\alpha = I_0$$

светораспределение диффузного шара с несветящимся основанием

$$I_\alpha = I_0 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

светораспределение диффузного вертикального цилиндра с несветящимися основаниями

$$I_\alpha = I_0 \sin \alpha$$

светораспределение многих реальных светильников может быть приближенно выражено зависимостью

$$I_a = I_0 \cos^n \alpha,$$

где n — эмпирически определяемый показатель, с увеличением которого возрастает степень концентрации светового потока в направлениях, примыкающих к вертикали.

При светораспределении по этой зависимости

$$\Phi = \frac{2\pi I_0}{n+1}$$

В случаях, когда зависимость $I_a = f(\alpha)$ задана аналитически, световой поток Φ равен: для диффузной плоскости — πI_0 , для диффузного шара — $4\pi I_0$, для диффузного полушара — $2\pi I_0$, для диффузного цилиндра — $\pi^2 I_0$.

Одной из характеристик, характеризующей зрительную работу, является фон — поверхность, на которой происходит различение объекта, с которым работает человек. Фон характеризуется способностью поверхности отражать падающий на нее свет. Отражательная способность определяется коэффициентом отражения — γ . В зависимости от цвета и фактуры поверхности значения коэффициента отражения γ изменяются в широких пределах — 0,02...0,95. Фон считается светлым при $\gamma > 0,4$; средним при значениях γ в диапазоне 0,2...0,4 и темным при $\gamma < 0,2$.

Важной характеристикой, от которой зависит требуемая освещенность на рабочем месте, является размер объекта различения — минимальный размер наблюдаемого объекта (предмета), отдельной его части или дефекта, которые необходимо различать при выполнении

работы. Например, при написании или чтении текста, чтобы видеть текст, необходимо различать толщину линии буквы — поэтому толщина линии и будет размером объекта различения при написании или чтении текста. Размер объекта различения определяет характеристику работы и ее разряд. Например, при размере объекта менее 0,15 мм разряд работы наивысшей точности (I разряд), при размере 0,15...0,3 мм — разряд очень высокой точности (II разряд); 0,3...0,5 мм — разряд высокой точности (III разряд) и т.д. При размере более 5 мм — грубая работа.

Очевидно, чем меньше размер объекта различения (выше разряд работы) и меньше контраст объекта различения с фоном, на котором выполняется работа, тем больше требуется освещенность рабочего места, и наоборот.

Факторы световой среды и освещения, определяющие зрительный комфорт

Для того чтобы обеспечить условия, необходимые для зрительного комфорта, в системе освещения должны быть реализованы следующие предварительные требования:

- равномерное освещение;
- оптимальная яркость;
- отсутствие бликов и ослепленности;
- соответствующий контраст.
- Отсутствие стробоскопического эффекта или пульсации света.

Важно рассматривать свет на рабочем месте, руководствуясь не только количественными, но и качественными критериями. Первым шагом здесь будет изучение рабочего места, точности, с которой должны выполняться работы, количество работы, степень перемещений рабочего при работе и так далее. Свет должен включать компоненты как рассеянного, так и прямого излучения. Результатом этой комбинации должно стать тенеобразование большей или меньшей интенсивности, которое должно позволить рабочему правильно воспринимать форму и положение предметов на рабочем месте. Раздражающие отражения, которые затрудняют восприятие деталей, должны быть устранены, так же как и чрезмерно яркий свет или глубокие тени.

Зрительная работоспособность определяется качеством освещения. Можно выделить следующие качественные характеристики освещения и способы их улучшения.

Прямая блескость. Находящиеся в поле зрения человека поверхности высокой яркости могут производить неприятное, дискомфортное ощущение или вызывать состояние ослепленности. В результате резко снижается зрительная работоспособность. Свойство высоких яркостей производить слепящее действие называется блескостью. Различают психологическую блескость, вызывающую

ощущение дискомфорта, и физиологическую блескость, снижающую зрительные функции. Для количественной характеристики блескости введены показатель ослепленности P — для производственных помещений и показатель дискомфорта M_d — для общественных помещений. Показатель P характеризует степень снижения контрастной чувствительности, т.е. видимости, вызванной наличием в поле зрения высокой яркости, а показатель M_d — снижение субъективно оцениваемой степени зрительного неудобства.

Механизм изменения контрастной чувствительности заключается в появлении в поле зрения так называемой вуалирующей пелены снижающей эффективный контраст между деталью и фоном. Если яркость наблюдаемого поля (поля адаптации) L_a , а яркость вуалирующей пелены β , то показатель ослепленности.

$$P = \frac{\beta}{L_a} 10^3$$

Множитель 10^3 введен для практического удобства, так как обычно речь идет о снижении контрастной чувствительности не более чем на 7...8 %.

Яркость вуалирующей пелены β определяется освещенностью E_3 плоскости зрачка и углом θ между осью зрения и направлением на блеский источник

$$\beta = m \frac{E_3}{\theta^2}$$

где m — коэффициент, зависящий от уровня слепящей яркости.

Как видно из приведенной формулы, на величину яркости вуалирующей пелены существенно влияет угол θ , с увеличением которого она резко снижается и при $\theta > 45^\circ$ практически становится нулевой, так как слепящая яркость не попадает в поле зрения.

Источниками прямой блескости являются осветительные установки и источники света.

Уменьшение прямой блескости может быть достигнуто:

- увеличением высоты установки светильников;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами;
- ограничением силы света в направлениях, образующих большие углы с вертикалью, например, применением
 - светильников с необходимым защитным углом;
 - уменьшением мощности каждого отдельного светильника за счет соответствующего увеличения их числа;
 - увеличением коэффициентов отражения всех поверхностей,

- находящихся в поле зрения.

Отраженная блескость возникает при больших коэффициентах отражения поверхностей, попадающих в поле зрения. Наибольшая опасность возникает при освещении поверхностей, не являющихся диффузными, когда свет падает на рабочие поверхности таким образом, что глаза находятся на направлении зеркального отражения лучей. В этом случае человек видит либо зеркальное отражение источника света, либо размытое, но очень яркое световое пятно. В обоих случаях может возникнуть состояние ослепленности, но чаще уменьшается эффективный контраст между деталью и фоном.

Устранение отраженной блескости достигается правильной организацией местного и локализованного освещения и таким расположением светильников, чтобы зеркально отраженные поверхностью лучи не попадали в глаза. Для этого лучше всего делать боковое или заднебоковое направление света.

Контраст между деталями и фоном. Из ранее сказанного ясно, что контраст между деталями и фоном, который в наибольшей степени определяет видимость деталей, не всегда является заданным и может быть увеличен или уменьшен средствами освещения и созданием световой среды. Одним из эффективных средств для повышения контраста является искусственный фон (чаще всего светлый, если деталь темная, или темный, если деталь светлая). Разновидностью искусственных фонов являются световые столы, на которых поверхности просматриваются в проходящем свете.

Тени. Различаются собственные тени, образованные рельефом поверхности, и тени, падающие от предметов, находящихся вне рабочей поверхности — оборудования, мебели, тела и рук человека и т.д. Собственные тени в большинстве случаев полезны, так как позволяют лучше различать конфигурацию детали. Падающие тени почти всегда вредны. Их вред заключается в том, что они искажают контраст, отвлекают внимание и т.д. Особенно вредны движущиеся тени.

Устранение или ограничение вредных теней осуществляется правильным выбором направления света. Например, когда человек пишет правой рукой, он смотрит на рабочую точку слева и с этой же стороны должен падать свет. Тени размазываются при увеличении размеров осветительных установок, смягчаются при достаточно высокой яркости стен и потолков и почти исчезают при отраженном освещении.

Насыщенность помещения светом. Для создания комфортных зрительных условий для человека важна не только освещенность какой бы то ни было поверхности, на которой осуществляется работа, но и впечатление насыщенности помещения светом, которое получает человек. Для характеристики насыщенности помещения светом введено понятие

цилиндрической освещенности $E_{ц}$. Цилиндрическая освещенность — это отношение светового потока, падающего на боковую поверхность элементарного вертикального цилиндра, к площади этой поверхности:

$$E_{ц} = \lim_{dl \rightarrow 0} \left| \frac{\Phi}{\pi dh} \right|$$

где d , h — диаметр и высота цилиндра.

Установлено соотношение между $E_{ц}$ и впечатлением насыщенности светом помещения. Характеристике насыщенности "большая", "повышенная" и "нормальная" установлены соответственно значения $E_{ц}$, равные 150, 100 и 75 лк.

Яркость вторичных полей адаптации зрения. При достаточной яркости рабочей поверхности одновременное присутствие в поле зрения темных поверхностей (например, стен, потолков, мебели, оборудования) создает затруднения при адаптации зрения. От яркости этих поверхностей зависит также впечатление насыщенности помещения светом. Ту составляющую $E_{ц}$, которая создается светом, отраженным от этих поверхностей, можно считать наиболее ценной, если не единственной, создающей впечатление насыщенности светом. Если в помещении установлены подвесные светильники прямого света, верхняя зона помещения останется темной. Это производит неприятное эстетическое и психологическое впечатление. Поэтому лучше применять светлую окраску стен и потолков, а для освещения применять светильники, излучающие некоторую (желательно не менее 15 %) часть светового потока в верхнюю полусферу.

Постоянство освещенности во времени. Изменения освещенности по времени можно подразделить на медленные и плавные, частые колебания и пульсации. Медленные изменения вызываются постепенными изменениями сетевого напряжения и факторами, изменяющими освещенность в процессе эксплуатации (загрязнением источников света, снижением светоотдачи и т.д.). Если освещенность при этом сохраняется на уровне не ниже нормативного значения, эти изменения не являются вредными.

Причиной частых колебаний являются перемещения светильников, их раскачивание движением воздуха (ветер, сквозняк, вентиляционная установка и т.д.) и колебания напряжения в сети, порождаемые изменением нагрузки. На каждый процент изменения сетевого напряжения источники света реагируют изменениями в ту же сторону светового потока: лампы накаливания — на 3,7 %, люминесцентные — в среднем на 1 %, а лампы ДРЛ — на 3 %.

Пульсации освещенности обусловлены малой инерционностью излучения газоразрядных ламп, световой поток пульсирует при

переменном токе промышленной частоты (50 Гц) с удвоенной частотой последнего, т.е. 100 Гц. Эти пульсации неразличимы при фиксировании глазом неподвижной поверхности, но легко обнаруживаются при рассматривании движущихся предметов. Если при пульсирующем освещении быстро махать карандашом на контрастирующем фоне, то карандаш приобретает ясно видимые контуры. Эффективнее пульсации можно обнаружить с помощью стробоскопического волчка, который можно выполнить из белого картона, на поверхности которого нанесены черными линиями радиусы через равные углы. Если при вращении волчка время его вращения на угол, равный углу между соседними радиусами, равно периоду пульсаций ($T=1/f=0,01$ с) или в целое число раз меньше его, то волчок покажется остановившимся. При незначительном увеличении T скорости вращения волчка он покажется вращающимся в действительном направлении, но очень медленно, при уменьшении скорости — изменившим направление. Это явление носит название стробоскопического эффекта.

Практическая опасность стробоскопического эффекта состоит в том, что вращающиеся части механизмов могут показаться неподвижными, вращающимися с более медленной скоростью, чем в действительности, или в противоположном направлении. Это может стать причиной травматизма.

Однако пульсации освещенности вредны и при работе с неподвижными поверхностями, вызывая утомление зрения и головную боль. К пульсациям наиболее чувствительно периферическое зрение и поэтому они опасны при общем освещении.

Устранение колебаний освещенности обеспечивается закреплением светильников и стабилизацией колебаний напряжения сети. Ограничение пульсаций достигается чередованием питания ламп от разных фаз трехфазной сети, в ряде случаев применяется питание ламп током повышенной частоты.

Равномерность освещения. Резкое различие яркостей, находящихся в поле зрения, вызывает неустойчивое состояние адаптационного аппарата.

Спектральный состав света, определяющий его цвет, который оказывает существенное влияние на психофизиологическое состояние человека, о чем будет сказано ниже.

3.3. Виды освещения

Освещение подразделяется на естественное, искусственное и совмещенное.

Естественное освещение разделяется на боковое (световые проемы в стенах), верхнее (прозрачные перекрытия и световые фонари на крыше) и комбинированное (наличие световых проемов в стеках и перекрытиях одновременно). Величина освещенности E_v в помещении от естественного света небосвода зависит от времени года, времени дня, наличия облачности, а также доли светового потока Φ от небосвода, которая проникает в помещение. Эта доля зависит от размера световых проемов (окон, световых фонарей), светопропускаемости стекол (сильно зависит от загрязненности стекол), наличия напротив световых проемов зданий, растительности, коэффициентов отражения стен и потолка помещения (в помещениях с более светлой окраской естественная освещенность лучше) и т.д.

Естественный свет лучше по своему спектральному составу, чем искусственный свет, создаваемый любыми источниками света. Кроме того, чем лучше естественное освещение в помещении, тем меньше времени приходится пользоваться искусственным светом, а это приводит к экономии электрической энергии

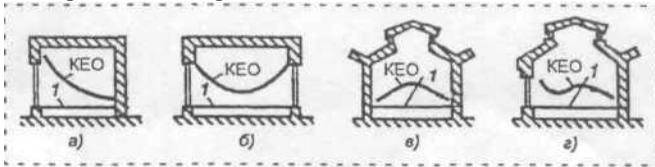


Рис. 36 Распределение КЕО при различных видах естественного освещения: а — одностороннее боковое освещение; б — двустороннее боковое освещение; в — верхнее освещение; г — комбинированное освещение; 1 — уровень рабочей поверхности щени, тем меньше времени приходится пользоваться искусственным светом, а это приводит к экономии электрической энергии

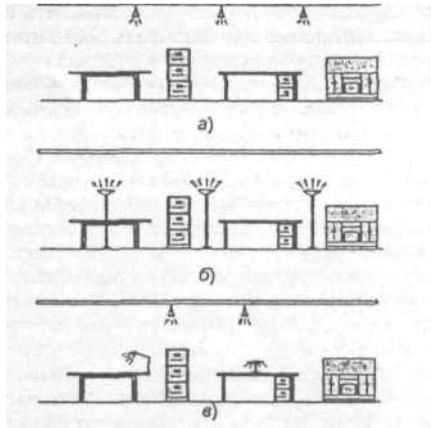


Рис. 37 Виды искусственного освещения: а — общее; б — общее локализованное; в — комбинированное

Для оценки использования естественного света введено понятие коэффициента естественной освещенности (КЕО) и установлены минимально допустимые значения КЕО — это отношение освещенности E_B внутри помещения за счет естественного света к наружной освещенности E_H от всей полусферы небосклона, выраженное в процентах:

$$\text{КЕО} = (E_B / E_H) 100$$

КЕО не зависит от времени года и суток, состояния небосвода, а определяется геометрией оконных проемов, загрязненностью стекол, окраской стен помещений и т.д. Чем дальше от световых проемов, тем меньше значение КЕО.

Минимально допустимая величина КЕО определяется разрядом работы: чем выше разряд работы, тем больше минимально допустимое значение КЕО. Например, для I разряда работы (наивысшей точности) при боковом естественном освещении минимально допустимое значение КЕО равно 2 %, при верхнем — 6 %, а для III разряда работы (высокой точности) соответственно 1,2 % и 3 %. По характеристике зрительной работы труд учащихся можно отнести ко второму разряду работы и при боковом естественном освещении в аудитории, лаборатории на рабочих столах и партах должен обеспечиваться $\text{КЕО} = 1,5 \%$.

При недостатке освещенности от естественного света используют искусственное освещение, создаваемое электрическими источниками света. По своему конструктивному исполнению искусственное освещение может быть общим, общим локализованным и комбинированным (рис. 4).

При общем освещении все места в помещении получают свет от общей осветительной установки. В этой системе источники света распределены равномерно без учета расположения рабочих мест. Средний уровень освещенности должен быть равен уровню освещенности, требуемому для выполнения предстоящей работы. Эти системы используются главным образом на участках, где рабочие места не являются постоянными.

Такая система должна соответствовать трем основным требованиям. Прежде всего она должна быть оснащена антибликовыми приспособлениями (сетками, диффузорами, рефлекторами и т.д.). Второе требование заключается в том, что часть света должна быть направлена на потолок и на верхнюю часть стен. Третье требование состоит в том, что источники света должны быть установлены как можно выше, чтобы свести ослепление до минимума и сделать освещение как можно более равномерным (рис. 5).

Общая локализованная система освещения предназначена для увеличения освещения посредством размещения ламп ближе к рабочим поверхностям. Светильники при таком освещении часто дают блики, и их рефлекторы должны быть расположены таким образом, чтобы они убирали источник света из прямого поля зрения рабочего. Например, они могут быть направлены вверх.

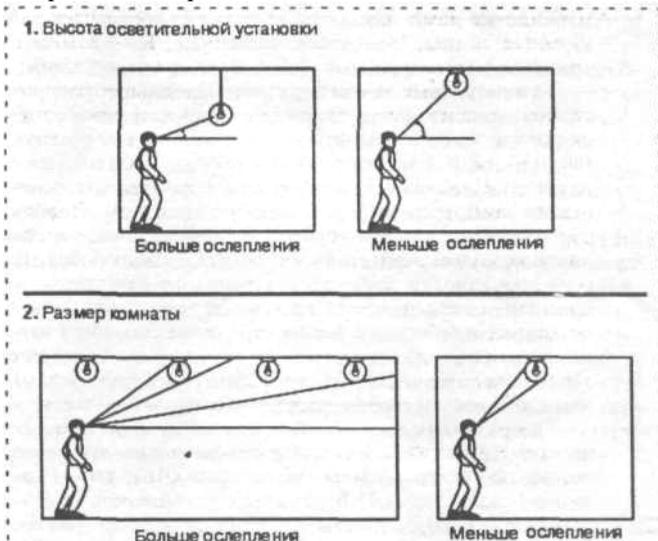


Рис. 38 Схема размещения светильников при общем освещении

Комбинированное освещение наряду с общим включает местное освещение (местный светильник, например настольная лампа), сосредоточивающее световой поток непосредственно на рабочем месте. Использование местного освещения совместно с общим рекомендуется применять при высоких требованиях к освещенности.

Применение одного местного освещения недопустимо, так как возникает необходимость частой переадаптации зрения, создаются глубокие и резкие тени и другие неблагоприятные факторы. Поэтому доля общего освещения в комбинированном должна быть не менее 10 % (для помещений, имеющих естественное освещение):

$$\begin{aligned} E \text{ комбинированное} &= E \text{ общее} + E \text{ местное} \\ (E \text{ общее} / E \text{ комбинированное}) \cdot 100 &\geq 10 \% \end{aligned}$$

Кроме естественного и искусственного освещения, может применяться их сочетание, когда освещенности за счет естественного света недостаточно для выполнения той или иной работы. Такое освещение называется совмещенным. Для выполнения работы наивысшей, очень высокой и высокой точности в основном применяют совмещенное освещение, так как, как правило, естественной освещенности недостаточно.

Искусственное освещение подразделяется на несколько видов: рабочее, аварийное, эвакуационное, дежурное, охранное.

Рабочее освещение предназначено для выполнения производственного процесса.

Аварийное освещение — для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Для аварийного освещения используются лампы накаливания, для которых применяется автономное питание электроэнергией. Светильники функционируют все время или автоматически включаются при аварийном отключении рабочего освещения.

Эвакуационное освещение — для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения. Для эвакуации людей уровень освещенности основных проходов и запасных выходов должен составлять не менее 0,5 лк на уровне поля и 0,2 лк на открытых территориях.

Кроме минимально допустимой величины КЕО и доли общего освещения в комбинированном освещении, в соответствии с нормами устанавливается величина минимально допустимой освещенности E_{\min} (это основной нормируемый параметр). Величина E_{\min} зависит от разряда работы. Разряды работы делят на четыре подразряда в зависимости от светлоты фона и контраста между деталями (объектами различения) и фоном. Значения минимальной освещенности для 1-го разряда работы (наивысшей точности).

E_{\min} отличаются для различных систем освещения. При комбинированном освещении, как более экономичном, нормы выше, чем при общем. Действительно, с помощью светильника местного освещения, расположенного вблизи рабочего места, необходимую освещенность можно обеспечить при меньших затратах электрической энергии. Более подробные сведения о нормативных требованиях, предъявляемых к освещению, можно получить в СНиП 23-05—95.

Каждый вид деятельности требует определенного уровня освещенности на том участке, где эта деятельность осуществляется. Обычно, чем сильнее затруднено зрительное восприятие, тем выше должен быть средний уровень освещенности.

3.4. Искусственные источники света

Для искусственного освещения применяют электрические лампы двух типов — лампы накаливания (ЛН) и газоразрядные лампы (ГЛ).

Лампы накаливания относятся к источникам света теплового излучения. Видимое излучение (свет) в них получается в результате нагрева электрическим током вольфрамовой нити.

В газоразрядных лампах видимое излучение возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов или паров металлов, которыми заполняется колба лампы. Газоразрядные лампы называют люминесцентными, так как изнутри колбы покрыты люминофором, который под действием ультрафиолетового излучения, излучаемого электрическим разрядом, светится, преобразуя тем самым невидимое ультрафиолетовое излучение в свет.

Лампы накаливания наиболее широко распространены в быту из-за своей простоты, надежности и удобства эксплуатации. Находят они применение и на производстве, в организациях и учреждениях, но в значительно меньшей степени. Это связано с их низкой светоотдачей — 7...20 лм/Вт (светоотдача лампы — это отношение светового потока лампы к ее электрической мощности), небольшим сроком службы — до 2500 ч, преобладанием в спектре желтых и красных лучей, что сильно отличает спектральный состав света от солнечного света. В маркировке ламп накаливания буква В обозначает вакуумные лампы, Г — газонаполненные, К — лампы с криптоновым наполнением, Б — биспиральные лампы.

Газоразрядные лампы получили наибольшее распространение на производстве, в организациях и учреждениях прежде всего из-за значительно большей светоотдачи (40...100 лм/Вт) и срока службы (8000...12000 ч). Газоразрядные лампы в основном применяются для

освещения улиц, иллюминации, световой рекламы. Подбирая сочетание инертных газов, паров металла, заполняющих колбы ламп, и люминофора, можно получить свет практически любого спектрального диапазона — красный, зеленый, желтый и т.д. Для освещения в помещениях наибольшее распространение получили люминесцентные лампы дневного света, колба которых заполнена парами ртути. Свет, излучаемый такими лампами, близок по своему спектру к солнечному свету.

Газоразрядные люминесцентные лампы бывают низкого давления, с разным распределением светового потока по спектру: лампы белого света (ЛБ); лампы холодно-белого света (ЛХБ); лампы с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ); лампы тепло-белого света (ЛТБ); лампы, близкие по спектру к солнечному свету (ЛЕ); лампы холодно-белого света улучшенной цветопередачи (ЛХБЦ). Лампы ЛЕ, ЛДЦ применяются в случаях, когда предъявляются высокие требования к определению цвета, в остальных случаях — лампы ЛБ, как наиболее экономичные.

К газоразрядным лампам высокого давления относятся: дуговые ртутные лампы с исправленной цветностью (ДРЛ); ксеноновые (ДКсТ), основанные на излучении дугового разряда в тяжелых инертных газах; натриевые высокого давления (ДНаТ); металлогалогенные (ДРИ) с добавкой йодидов металлов. Лампы ДРЛ рекомендуются для производственных помещений, если работа не связана с различением цветов (в высоких цехах машиностроительных предприятий и т.п.), и наружного освещения. Лампы ДРИ имеют высокую световую отдачу и улучшенную цветность, применяются для освещения помещений большой высоты и площади.

Яркость источника света. Источники света обладают различной яркостью. Максимальная переносимая человеком яркость при прямом наблюдении составляет 7500 кд/м^2 . На рис. 8 представлены некоторые из приблизительных значений яркости для нескольких источников света различного вида.

Однако газоразрядные лампы наряду с преимуществами перед лампами накаливания обладают и существенными недостатками, которые пока ограничивают их распространение в быту. Это пульсация светового потока, которая искажает зрительное восприятие и отрицательно воздействует на зрение. При освещении газоразрядными лампами может возникнуть стробоскопический эффект, заключающийся в неправильном восприятии скорости движения предметов.

Ограничение пульсаций до безвредных значений достигается равномерным чередованием питания ламп от различных фаз трехфазной сети, специальными схемами подключения. Однако это усложняет систему освещения. Поэтому люминесцентные лампы не нашли широкого применения в быту. К недостаткам газоразрядных ламп относится:

длительность их разгорания, зависимость их работоспособности от температуры окружающей среды, создание радиопомех.

Другой причиной, по-видимому, является следующее обстоятельство. Психологическое и отчасти физиологическое воздействие на человека цветности излучения источников света несомненно в значительной степени связано с теми световыми условиями, к которым человечество приспособилось за время своего существования. Далекое и холодное голубое небо, создающее в течение большей части светового дня высокие освещенности, вечером — близкий и горячий желто-красный костер, а затем пришедшие ему на смену, но аналогичные по цветности, "лампы сгорания", создающие низкие освещенности, — таковы световые режимы, приспособлением к которым, вероятно, объясняются следующие факты. У человека наблюдается более работоспособное состояние днем при свете преимущественно холодных оттенков, а вечером при теплом красноватом свете лучше отдыхать. Лампы накаливания дают теплый красновато-желтый цвет и способствуют успокоению и отдыху, люминесцентные лампы, наоборот, создают холодный белый цвет, который возбуждает и настраивает на работу.

От применяемого типа источников света зависит правильность цветопередачи. Например, темно-синяя ткань при свете ламп накаливания кажется черной, желтый цветок — грязно-белым, т.е. лампы накаливания искажают правильную цветопередачу. Однако есть предмет, которые люди привыкли видеть преимущественно вечером при искусственном освещении, например, золотые украшения "естественнее" выглядят при свете ламп накаливания, чем при свете люминесцентных ламп. Если при выполнении работы важна правильность цветопередачи, например, на уроках рисования, в полиграфической промышленности, картинных галереях и т.д., то лучше применять естественное освещение, а при его недостаточности — искусственное освещение люминесцентных ламп.

Таким образом, правильный выбор цвета для рабочего места значительно способствует повышению производительности труда, безопасности и общему самочувствию работников. Отделка поверхностей и оборудования, находящегося в рабочей зоне, точно также способствует созданию приятных зрительных ощущений и приятной рабочей обстановки.

Обычный свет состоит из электромагнитных излучений с различными длинами волн, каждое из которых соответствует определенному диапазону видимого спектра. Смешивая красный, желтый и голубой свет, мы можем получить большинство видимых цветов, включая белый. Наше восприятие цвета предмета зависит от цвета света, которым он освещен и от того, каким образом сам предмет отражает цвет.

Источники света подразделяются на следующие три категории в зависимости от цвета света, который они излучают:

- "теплого" цвета: белый красноватый свет — рекомендуется для освещения жилых помещений;
- промежуточного цвета: белый свет — рекомендуется для освещения рабочих мест;
- "холодного" цвета: белый голубоватый свет — рекомендуется при выполнении работ, требующих высокого уровня освещенности, или для жаркого климата.

Цвета классифицируются на холодный или теплый в зависимости от их тона.

Таким образом, важной характеристикой источников света является цвет светового излучения. Для характеристики цвета излучения введено понятие цветовой температуры.

Цветовая температура $T_{\text{цв}}$ — это такая температура излучателя Планка (черного тела), при которой его излучение имеет такую же цветность, как и рассматриваемое излучение. Действительно при нагреве черного тела его цвет изменяется от теплых оранжево-красных до холодных белых тонов. Цветовая температура измеряется в градусах Кельвина (К). Связь между градусами по шкале Цельсия и по шкале Кельвина следующая: $K = ^\circ C + 273$.

Цвета электрических ламп можно разделить на три группы, в зависимости от их цветовой температуры:

- белый дневного цвета — около 6000 К;
- нейтральный белый — около 4000 К;
- теплый белый — около 3000 К



Рис. 39 Классификация цвета

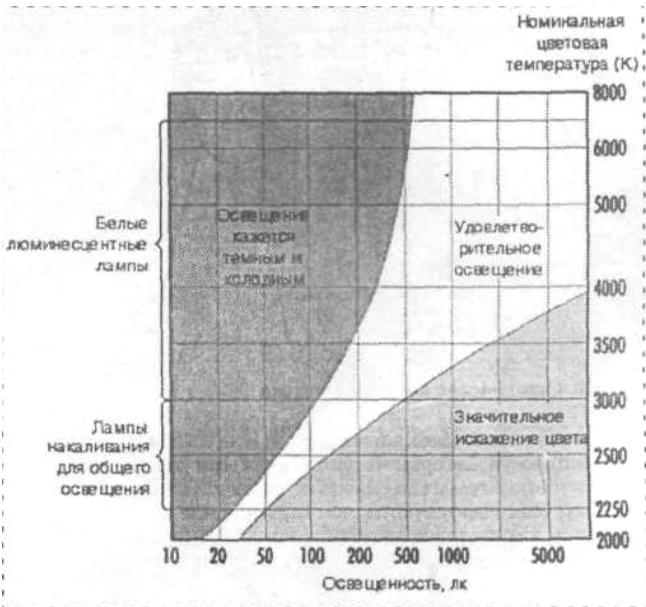


Рис. 40 Диаграмма условий зрительного восприятия в зависимости от уровня освещенности и цветовой температуры источников света

На рис. 40 представлена номограмма условий зрительного восприятия в зависимости от уровня освещенности и цветовой температуры источников света.

3.5. Светильники

Для более эффективного использования светового потока и ограничения ослепленности электрические лампы устанавливают в осветительной арматуре. Ослепление происходит, когда в поле зрения находится яркий источник света; результатом его является уменьшение способности различать предметы. Рабочие, которые постоянно подвергаются ослеплению, могут страдать от глазного напряжения, а также от функциональных расстройств, хотя часто они этого не осознают.

Ослепление может быть прямым, когда оно вызвано нахождением ярких источников света в поле зрения, или отраженным, когда свет отражается от поверхностей с высоким коэффициентом отражения. Избежать ослепления достаточно просто и сделать это можно несколькими способами. Одним из способов, например, является установка сеток под источниками освещения; можно также использовать охватывающие диффузоры или параболические рефлекторы, которые могут направлять свет туда, куда нужно, или установить источники света так, чтобы они были вне угла зрения.

Если в светильнике используется лампа без осветительной арматуры, то вряд ли распределение света будет приемлемым, и система почти наверняка будет неэкономичной. В таких случаях эта лампа будет источником ослепления для людей, находящихся в комнате, а эффективность установки будет значительно снижена из-за бликов.

Арматура с лампой называется светильником. Для регулирования светового потока в осветительной арматуре используются следующие методы:

ограничение светового потока: если лампа установлена в непрозрачном корпусе только с одним отверстием для выхода света, то распределение света будет очень ограничено (рис. 41);

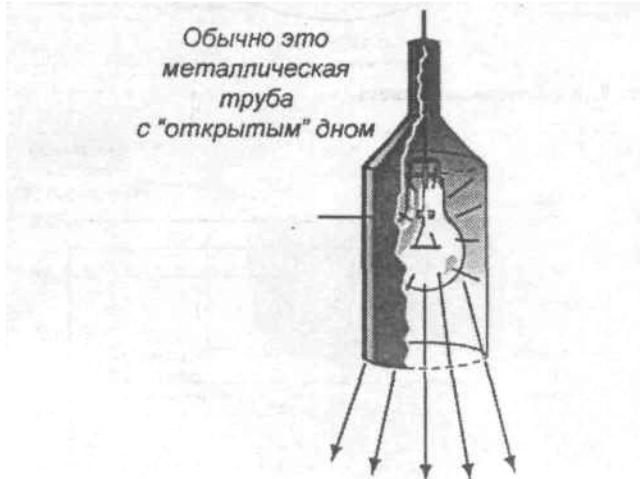


Рис. 41 Ограничение светового потока

отражение светового потока: метод использует отражающие поверхности, которые могут быть самыми разнообразными, от глубоко матовых до сильно отражающих или зеркальных, метод более эффективен, чем ограничение светового потока, так как световое излучение концентрируется и направляется в зону, где необходимо освещение (рис. 42);

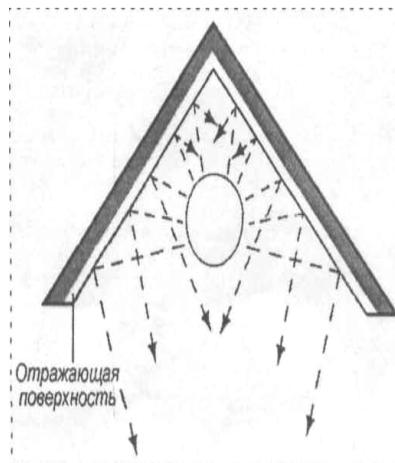


Рис. 42 Отражение светового потока

рассеяние светового потока: лампа устанавливается в прозрачном материале, рассеивающим и создающим диффузный (рассеянный)

световой поток; диффузоры поглощают некоторое количество излучаемой световой энергии, что снижает общий коэффициент полезного действия светильника, однако при этом исключается ослепляющее действие источника света (рис. 43);

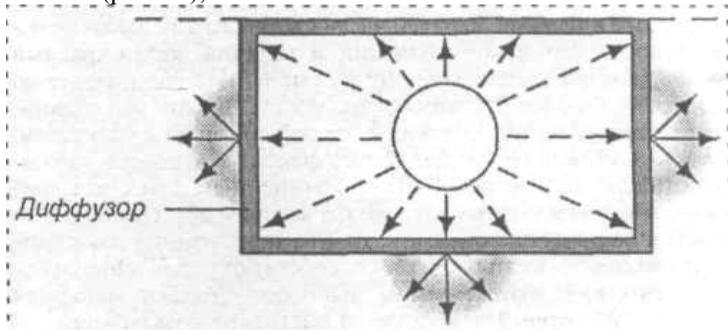


Рис. 43 Рассеяние светового потока

рефракция светового потока: метод использует эффект призмы, где обычно стеклянный или пластмассовый материал призмы "искривляет" лучи света и таким образом перенаправляет световой поток; метод очень эффективен для общего освещения, его преимущество состоит в устранении бликов на отражающих поверхностях за счет создания диффузного освещения (рис. 44).

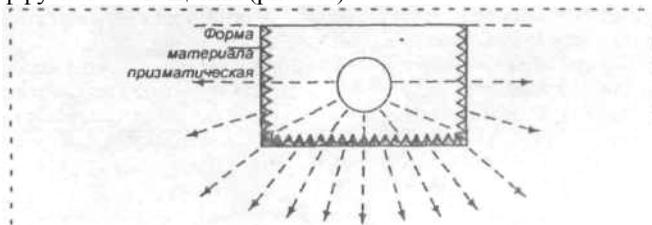


Рис. 44 Рефракция светового потока

В светильниках может использоваться сочетание описанных методов регулирования светового потока.

На рис. 45 представлены некоторые типы светильников с лампами накаливания и люминесцентными лампами, используемыми в производственных и общественных помещениях. В бытовых целях применяются светильники более разнообразных конструкций и форм, выполняющих не только осветительную, но и декоративную функцию.

По распределению света светильники подразделяются на светильники прямого, рассеянного или отраженного света.

Светильники прямого света направляют более 80 % светового потока в нижнюю полусферу за счет внутренней отражающей эмалевой или полированной поверхности ("Глубокоизлучатель", "Универсаль", "Альфа" и др.).

Светильники рассеянного света излучают световой поток в обе полусферы ("Молочный шар", "Люцетта").

Светильники отраженного света более 80 % светового потока направляют вверх на потолок, а отражаемый от него свет — вниз в рабочую зону. Несмотря на их гигиенические преимущества (равномерность, отсутствие блескости и др.), в производственных условиях они применяются редко, так как для них требуется высокий коэффициент отражения потолка, что не всегда имеет место в условиях производства.

Для защиты глаз от ослепления светящейся поверхностью, служит защитный угол светильника — угол, образованный горизонталью от поверхности лампы (края светящейся нити) и линией, проходящей через край арматуры светильника. Защитный угол светильников $\beta=30...45^\circ$.

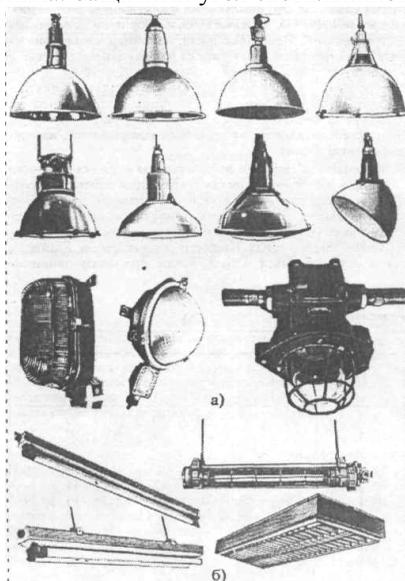


Рис. 45 Некоторые типы светильников: а — лампы накаливания; б — люминесцентные лампы

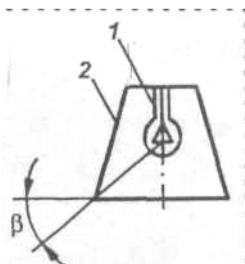


Рис. 46 Защитный угол светильника: 1 — источник света; 2 — светильник

Организация рабочего места для создания комфортных зрительных условий.

Освещенность рабочего места должна быть равномерной. Во всяком случае не должно быть значительной разницы в освещенности различных участков рабочего места, чтобы не требовалось частой переадаптации зрения. Например, поверхности предметов, с которыми в данный момент осуществляется работа, должны иметь одинаковую освещенность. Подсветка с помощью небольшого светильника только поверхности одного предмета приведет к различию в освещенности других предметов. Частое обращение к подсветке потребует постоянной адаптации зрения, что, в конечном счете, приведет к быстрому зрительному утомлению, снижению работоспособности, общему утомлению, психическому напряжению. Письменный стол должен располагаться в хорошо освещенном месте, желательно

у окна. Человек за письменным столом должен располагаться лицом или левым боком к окну (для левшей — правым боком) для того, чтобы избежать образования тени от тела или руки человека. Светильник искусственного освещения должен располагаться относительно тела человека аналогичным образом.

Светильники должны располагаться над рабочим местом вне запретного угла, равного 45° . Кроме того, конструкция светильника должна исключать ослепление человека лучами, отраженными от рабочей поверхности. Для этого арматура светильника должна предусматривать направление прямых лучей, исходящих от источника под иными углами, исключаящими попадание отраженного луча в глаз человека.

Почему сильное различие в освещенности отдельных участков помещения или различных помещений может привести к травме!

При переходе из хорошо освещенного участка или помещения на плохо освещенный участок требуется некоторый промежуток времени для адаптации глаза к низкой освещенности. В этот период человек плохо видит. Это может привести к тому, что человек споткнется, упадет, наткнется на какой-либо предмет и т.д. и получит травму. Особенно

большая опасность возникает при очень большой разнице в освещенности — более чем 20...30 раз, что требует значительного времени для глубокой переадаптации глаза, в течение которого человек очень плохо видит или не видит вообще.

Поэтому, если освещенность в помещении и коридоре, в который осуществляется выход из помещения, сильно различается, необходимо улучшить освещение в коридоре. Для снижения вероятности получения травмы указанные выше обстоятельства особенно важно учитывать на лестничных клетках и других травмоопасных местах.

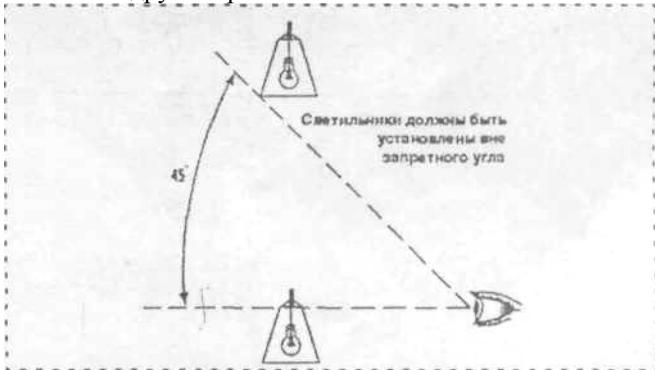


Рис. 47 Схема установки светильников

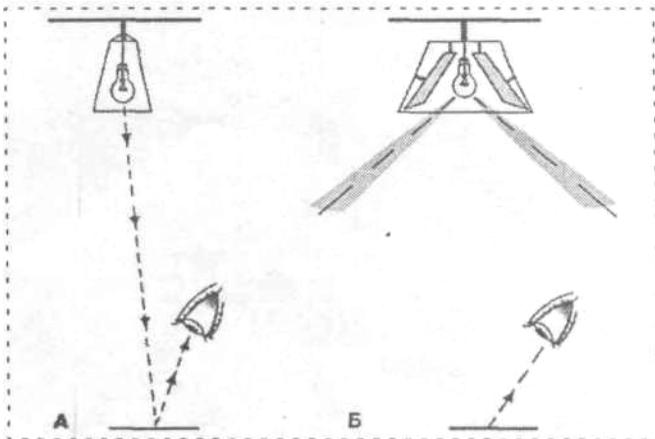


Рис. 48 Выбор конструкции светильника: А — неправильно (ослепление отраженными лучами); Б — правильно (исключение ослепления отраженными лучами)

Обратите внимание на следующее:

- правильная организация освещения и условий для выполнения зрительных работ — залог сохранения хорошего зрения на долгие годы;
- при большем контрасте требуется меньшая освещенность; поэтому на рабочем месте желательно обеспечить большой контраст между объектом и фоном, на котором расположен объект; с темными предметами лучше работать на светлом фоне, а со светлыми — на темном фоне. Это позволит при меньшем значении освещенности успешно выполнять работу и снизить зрительное утомление;
- если изменить контраст объекта с фоном путем, например, изменения коэффициента отражения фона нельзя, необходимо увеличивать освещенность на рабочем месте. Психофизиологическое воздействие цвета на человека. Известно, что поверхности голубых тонов, а также очень темные поверхности воспринимаются человеком как "отступающие", т.е. представляются расположенными дальше, чем в действительности. Это иногда ведет к кажущемуся увеличению размеров помещения. Красные тона, наоборот, представляются "выступающими". Некоторые цвета, например, светло-фиолетовые цвета оказывают на человека раздражающее действие и способствуют очень быстрому утомлению. Другие же, в частности зеленый, дают противоположный результат. Субъективное восприятие человеком таких внешних факторов внешней среды, как температура, шум и другие, даже запахи, в определенной степени зависит от цветности поверхностей, находящихся в поле зрения.

Психофизиологическое воздействие на человека цветности источников излучения и цвета поверхностей помещения обязательно нужно учитывать при цветосветовом оформлении интерьера. Например, для спален лучше применять ЛН и цветовое оформление выполнять в мягких успокаивающих, например, желто-зеленых тонах. Наоборот, в помещениях, в которых должна осуществляться работа, лучше применять люминесцентные лампы, а цветовое оформление выполнять в светлых, бодрящих тонах, стимулирующих активную деятельность.

Следует обратить внимание на то, что психофизиологическое воздействие цвета на человека учитывается как весьма важный фактор, определяющий вопросы безопасности, например, окраска автомобилей, знаков безопасности, опасных участков, трубопроводов, баллонов и т.д. Следует обратить внимание на то, что цвет имеет также и субъективно индивидуальную сторону воздействия на эмоциональную сферу человека.

3.6. Гигиеническое нормирование искусственного и естественного освещения

Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения являются: величина минимальной освещенности E_{\min} , допустимая яркость в поле зрения $L_{\text{доп}}$, а также показатель ослепленности P и коэффициент пульсации K_p (СНиП 23—05—95).

Величина минимальной освещенности задается для наиболее темного участка рабочей поверхности. Под рабочей поверхностью понимается условная горизонтальная плоскость, расположенная на расстоянии 0,8 м от уровня пола производственного помещения. Нормируемое значение E_{\min} , выбирается в зависимости от точности зрительной работы, коэффициента отражения рабочей поверхности, продолжительности напряженной зрительной работы в общем бюджете времени, характеристики качества освещения и технико-экономических показателей применяемой системы освещения.

Степень точности зрительных работ определяется угловыми размерами и яркостным контрастом K объекта различения с фоном.

Угловые размеры объекта различения, выраженные в угловых минутах, группируются по их линейным размерам, расстояние от объекта до глаза принимается равным 0,35...0,5 м. Это позволяет линейный размер 0,1 м принять эквивалентным угловому размеру в одну угловую минуту. Объекты различения классифицируются по размерам на шесть разрядов: от I наивысшей точности (<0,15 мм) до VI — грубые работы (>5 мм). Последние VII, VIII, IX разряды не учитывают размеры объекта различения, поскольку к ним относятся работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса, а также работа с самосветящимися объектами.

Контраст объекта с фоном K принято считать малым, если $K < 0,2$, средним при $0,2 < K < 0,5$ и большим при $K > 0,5$. Рабочие поверхности, являющиеся фоном, на котором объект зрительно обнаруживается и опознается, классифицируют по значению коэффициента отражения ρ : если $\rho < 0,2$ — фон считается темным; если $0,2 < \rho < 0,4$ — средним; при $\rho > 0,4$ — светлым.

Если работа связана с повышенной опасностью травматизма, размещением деталей на движущихся поверхностях и напряженная зрительная работа проводится непрерывно в течение рабочего дня или различаемые объекты расположены от глаз далее чем на 0,5 м, то нормы освещенности повышаются на одну степень согласно специальной шкале освещенностей.

Таблица 22

Допустимый показатель ослепленности в производственных и вспомогательных помещениях (СНиП 23-05—95)

Разряд и подразряд зрительной работы	Показатель ослепленности	
	при постоянном пребывании людей в помещении	при периодическом пребывании людей в помещении
I, II	20	—
III, IV, V, VII	40	60
VI, VIIa	60	80

Таблица 23

Допустимый коэффициент пульсации освещенности для производственных помещений (СНиП 23-05—95)

Освещение	Допустимый коэффициент пульсации освещенности, % (для разрядов зрительной работы)		
	I, II	III	IV—VIII а, б
Общее	10	15	20
Комбинированное:			
общее	20	20	20
местное	10	15	20

В нормах приведены значения освещенности для газоразрядных ламп. Для ламп накаливания эти нормы снижаются по шкале освещенности.

Для систем естественного освещения нормируемым параметром является коэффициент естественного освещения КЕО, e_n , %. КЕО - отношение измеренной в данной точке рабочей поверхности освещенности (внутри помещения) к значению освещенности, измеренной на горизонтальной площадке в точке, расположенной вне производственного здания и освещенной рассеянным светом всего купола небосвода.

При боковом освещении нормируется минимальное значение e_{min} . При одностороннем — в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, при двустороннем — в точке посередине помещения. При верхнем и комбинированном освещении нормируется среднее значение КЕО.

Таблица 24

Коэффициент светового климата

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

ПРИМЕЧАНИЕ. С — северное; СВ — северо-восточное; СЗ — северо-западное; В — восточное; З — западное; С—Ю — северо-юг; В—З — восток-запад; Ю — южное; ЮВ — юго-восточное; ЮЗ — юго-западное. 2. Группы административных районов России по ресурсам светового климата приведены в табл. 25.

Таблица 25

Группы административных районов по ресурсам светового климата

Номер группы	Административный район
1	2
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская области, Мордовия, Чувашия, Удмуртия, Башкортостан, Татарстан, Красноярский край (севернее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (севернее 63° с.ш.), Чукотский нац. округ, Хабаровский край (севернее 55° с.ш.)
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Северо-Осетинская Республика, Чеченская Республика, Ингушская Республика, Ханты-мансийский нац. округ, Алтайский край, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Республика Саха(Якутия) (южнее 63° с.ш.), Республика Тува, Бурятская Республика, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Магаданская обл.

1	2
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Карельская Республика, Ямало-Ненецкий нац. округ, Ненецкий нац. округ
4	Архангельская, Мурманская области
5	Калмыцкая Республика, Ростовская, Астраханская области, Ставропольский край, Дагестанская Республика, Амурская область, Приморский край

$$e_{cp} = \frac{1}{n-1} \left(\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + \frac{e_n}{2} \right)$$

где n — количество точек; e_i — соответствующее значение КЕО в точках, расположенных на линии пересечения плоскости характерного разреза и рабочей плоскости.

В СНиП 23-05—95 приведены нормативные значения КЕО, e_n^{III} для зданий, расположенных в III поясе светового климата РФ (Москва, Свердловск, Челябинск, Якутск и др.). Для зданий, расположенных в I, II, IV и V поясах светового пояса РФ, нормированные значения КЕО определяются по формуле:

$$e_N = e_H e_N$$

где m — коэффициент светового климата (табл. 3.10); N — номер группы обеспеченности естественным светом для административного района (табл. 21).

Кроме количественного показателя КЕО, нормируется также качественная характеристика — неравномерность естественного освещения, т.е. величина, характеризующая отношение наибольшего и наименьшего КЕО в пределах характерного разреза помещения. Неравномерность не должна превышать 2:1 для работ I и II разрядов и 3:1 для работ III и IV разрядов.

При определении достаточности естественного освещения в производственном помещении при правильной расстановке оборудования и распределении рабочих мест с различной степенью зрительного напряжения используются методы аналитического определения КЕО (СНиП 23-05—95).

3.7. Расчет освещения

3.7.1. Методы расчета общего искусственного освещения рабочих помещений

Метод светового потока (коэффициента использования) применяется при равномерном расположении светильников и при

нормированной горизонтальной освещенности. С помощью этого метода рассчитывают среднюю освещенность поверхности. При этом наиболее целесообразно рассчитывать освещение для помещений со светлым потолком и стенами, особенно при рассеянном и отраженном свете. Световой поток лампы $\Phi_{л}$ (лм) для ламп накаливания или световой поток люминесцентных ламп светильника рассчитывают по формуле:

$$\Phi_{л} = 100 E_{н} K z / n_{св} \eta,$$

где E — минимальная нормированная освещенность (лк), принимаемая по СНиП 23-05—95 — или отраслевым нормам; $S_{н}$ — площадь освещаемого помещения, м; K — коэффициент запаса, принимаемый по СНиП 23-05—95 (1,4—1,7); z — коэффициент минимальной освещенности, равный отношению $E_{ср}/E_{мин}$. Его значения для ламп накаливания и ДРЛ — 1,15; для люминесцентных — 1,1; $n_{св}$ — число светильников в помещении; η — коэффициент использования светового потока.

Таблица 26

Коэффициент использования светового потока

Светильник	«Астра.» УПМ-15			УПД			НСП-07			ВЗГ-200 с отражателем			ЛСП-01			ПВЛ		
$\rho_{п}\%$	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
$\rho_{с}\%$	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i																		
0,5	17	21	25	21	24	28	14	16	22	12	14	17	23	26	31	11	13	18
0,6	23	27	31	25	28	34	19	21	27	16	18	21	30	33	37	14	17	23
0,7	30	34	39	29	39	38	23	24	29	19	21	24	35	38	42	16	20	27
0,8	34	38	44	33	36	42	25	26	33	21	24	26	39	41	45	19	23	29
0,9	37	41	47	38	40	44	27	29	35	23	25	28	42	44	48	21	27	32
1	39	43	49	40	42	47	29	31	37	25	27	29	44	46	49	23	28	34
1,5	41	50	55	46	51	57	34	37	44	29	30	39	50	52	56	30	36	42
2	51	55	60	54	58	62	38	41	48	32	33	35	55	57	60	35	40	46
3	58	62	66	61	64	67	44	47	54	35	37	39	60	62	66	41	45	52
4	62	66	70	64	67	70	46	50	59	37	39	41	63	65	68	44	48	54
5	64	69	73	66	69	72	48	52	61	38	40	42	64	66	70	48	51	57

Он зависит от индекса помещения I , высоты подвеса светильников $H_{св}$ и коэффициентов отражения стен $\rho_{о}$, потолка $\rho_{п}$. Коэффициенты отражения оцениваются субъективно.

Таблица 27

Значения коэффициентов отражения потолка и стен (%)

Состояние потолка	$\rho_{п}\%$	Состояние стен	$\rho_{с}\%$
1	2	3	4
Свежепобеленный	70	Свежепобеленные с окнами, за крытыми белыми шторами	70

1	2	3	4
Побеленный, в сырых помещениях	50	Свежепобеленные с окнами без штор	50
Чистый бетонный	50	Бетонные с окнами	30
Светлый деревянный (окрашенный)	50	Оклеенные светлыми обоями	30
Бетонный грязный	30	Грязные	10
Деревянный неокрашенный	30	Кирпичные неоштукатуренные	10
Грязный (кузницы, склады)	10	С темными обоями	10

Индекс помещения определяют по формуле

$$i = ab / H_{\text{св}}(a+b),$$

где a и b — длина и ширина помещения, м; $n_{\text{св}}$ — число светильников в помещении.

Для расчета общего равномерного и локализованного освещения помещений и открытых пространств, а также местного освещения при любом расположении освещаемых поверхностей применяется точечный метод.

Освещенность какой-либо точки A горизонтальной поверхности выражается формулой

$$E = I_{\text{д}} \cos^3 \alpha / h_{\text{св}},$$

где $I_{\text{д}}$ — сила света (кд), заданная для условной лампы со световым потоком 1000 лм; α — угол между вертикальной плоскостью и направлением светового потока на освещаемую точку; $h_{\text{св}}$ — высота подвеса светильника, м. B Относительная освещенность

$$\varepsilon = I_{\text{д}} \cos^3 \alpha.$$

Эта величина численно соответствует освещенности точки A , расположенной на том же луче, но на плоскости, по отношению к которой высота установки светильника равна 1 м. Чтобы подчеркнуть, что освещенность рассчитывается не вообще, а для ламп со световым потоком 1000 лм, заменив обозначение освещенности E на e , запишем $e = \varepsilon / h_{\text{св}}^2$, где e — условная освещенность. Хотя относительная освещенность есть функция угла α , ее удобнее изображать кривыми в функции отношения $d/h = \text{tg} \alpha$.

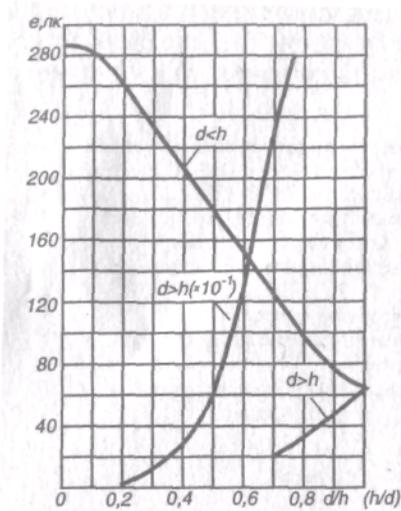


Рис. 49 Кривые относительной освещенности для светильников УПД ДРЛ

Переход от относительной освещенности к освещенности данной поверхности производится в соответствии с вышеприведенными выражениями. Если же требуется найти освещенность для лампы с произвольным световым потоком Φ , то основная формула принимает следующий вид:

$$E = \Phi e / 1000h^2.$$

Кривые относительной освещенности (рис. 4.12) позволяют вести расчет с высокой точностью, но при этом требуются определение отношения d/h или h/d и деление на h^2 . Пользование пространственными изолюксами устраняет эти операции. Пространственные изолюксы строят для каждого типа светильника, они показывают условную горизонтальную освещенность e , являющуюся функцией параметров d и h .

Порядок расчета освещенности по точечному методу. Выбрать тип и размещение светильников, и высоту их подвески $h_{св}$. Вычертить в масштабе план помещения со светильниками. На план нанести контрольную точку и найти расстояние d от нее до проекций светильников. По пространственным изолюксам горизонтальной освещенности отыскать условную освещенность (e) от каждого светильника. Вычислить общую условную освещенность $\sum e$ от всех светильников. Рассчитать горизонтальную освещенность в контрольной точке по формуле:

$$E = \Phi \mu \sum e / 1000K,$$

где μ — коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность от удаленных светильников и отраженного светового потока (принимается в пределах 1,1...1,2); K — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3...1,5 (в зависимости от периодичности чистки светильников).

Если мощность источника света предварительно не выбрана, то ее можно найти по световому потоку

$$\Phi = E_{\text{норм}} 1000K / \mu \sum e.$$

Расчет по удельной мощности основан на анализе большого количества светотехнических расчетов, выполненных по методу коэффициента использования светового потока.

Удельная мощность W_y — отношение мощности W источников света всех осветительных установок освещаемого помещения к освещаемой площади S_n , т.е.

$$W_y = W / S_n.$$

Значение удельной мощности зависит от следующих основных факторов: светильников, размещения их в помещениях, мощности и типа ламп, характеристики освещаемого помещения.

Метод применяется при расчете общего равномерного освещения, особенно для помещений большой площади.

3.7.2. Методы расчета естественного освещения

Целью расчета естественного освещения является аналитическое определения значения КЕО. Это необходимо для правильной расстановки оборудования, определения положения рабочих мест. Также для определения достаточности размеров оконных проемов для обеспечения минимально допустимого значения КЕО. Для расчета естественной освещенности могут применяться аналитические методы, но на практике определение значения КЕО в расчетной точке помещения осуществляют с использованием графиков и номограмм.

При использовании графических зависимостей расчет КЕО при боковом освещении осуществляют в следующей последовательности:

1. Определяют непосредственным измерением или строительным чертежом площадь S_o (m^2) световых проемов, площадь S_n (m^2) освещаемой части пола помещения и находят их отношение S_o/S_n .

2. Определяют глубину h_n (м) помещения от световых проемов до расчетной точки, высоту h_o (м) верхней грани световых проемов (окон) над уровнем рабочей поверхности и находят их отношение h_n/h_o .

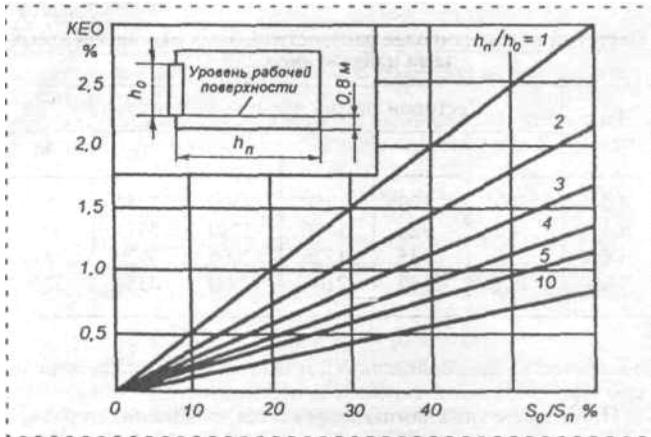


Рис. 50 График для определения КЕО по значению площади светового проема и освещаемой площади пола

3.С использованием графика, изображенного на рис. 50, по значениям отношения S_0/S_n и h_n/h_0 находят значение КЕО.

Для определения размеров оконных проемов, обеспечивающих требуемое по условиям трудовой деятельности значение КЕО, можно использовать график, изображенный на рис. 50. По графику на пересечении вычисленного значения h_n/h_0 (точка А) и необходимой величины КЕО (точка Б) определяют требуемое значение S_0/S_n (точка В), выраженное в процентах. Далее вычисляют требуемую площадь световых проемов S_0 .

Для определения значения КЕО может также применяться графический метод А. М. Данилжжа, пригодный для легкой сплошной освещенности, т.е. при диффузном распространении светового потока. Метод сводится к тому, что полусферу небосвода разбивают на 10000 участков равной световой активности и подсчитывают, какое число этих участков видно из расчетной точки помещения через световой проем, т.е. графически определяют, какая часть светового потока от всей небесной полусферы непосредственно попадает в расчетную точку.

Число видимых через световой проем участков небосклона находят при помощи двух графиков, представляющих собой пучок проекций лучей, соединяющих центр полусферы небосвода с участками равной световой активности по высоте (график I) и по ширине (график II) светового проема.

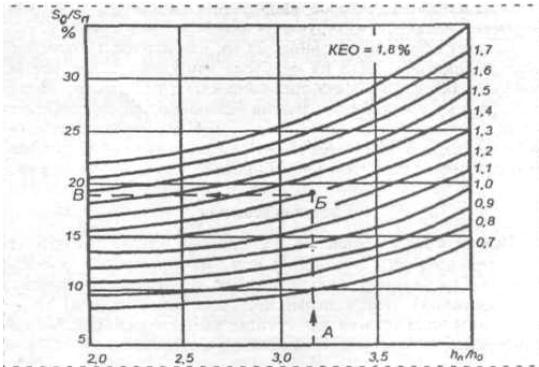


Рис. 51 График определения КЕО по глубине помещения и высоте световых проемов

Для расчета по методу А. М. Данилюка на листе бумаги выполняют разрезы помещения - поперечный разрез и в плане в масштабе, соответствующем масштабу графиков. Затем накладывают график I на поперечный разрез так, чтобы основание графика совпадало со следом расчетной плоскости рабочей поверхности, а полюс графика с расчетной точкой М, и определяют число лучей n_1 , проходящих через контур светового проема. График II накладывают на план помещения так, чтобы его основание было параллельно плоскости расположения светового проема и было расположено от нее на расстоянии, равном расстоянию от расчетной точки до середины светового проема по высоте на поперечном разрезе. При этом полюс графика должен находиться на пересечении его основания с горизонтальной линией, проведенной на плане помещения через расчетную точку. Подсчитывают число лучей n_2 , проходящих через контур светового проема по ширине. Значение КЕО (%) в расчетной точке помещения определяют как:

$$KEO = 0,01 n_1 / n_2.$$

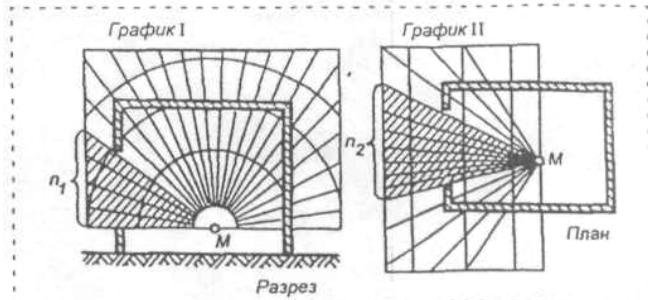


Рис. 52 Схема для расчета естественного освещения по методу А. М. Данюлика

Тест

1. Освещенность E измеряется:

- а) в Люксах (лк);
- б) в Люменах (лм);
- в) в Канделах (кн).

2. Сила света I измеряется:

- а) в Люксах (лк);
- б) в Люменах (лм);
- в) в Канделах (кн).

3. Контраст объекта с фоном считается малым:

- а) при $K < 0,2$;
- б) при $K < 0,1$;
- в) при $K < 0,3$.

4. При размере объекта различения $0,15 \pm 0,3$ мм разряд зрительной работе:

- а) наивысшей точности;
- б) высокой точности;
- в) очень высокой точности.

5. Освещение подразделяется на:

- а) естественное, искусственное, комбинированное;
- б) естественное, искусственное, совместное;
- в) естественное, совместное, комбинированное.

6. Естественное освещение подразделяют на:

- а) боковое, верхнее, совмещенное;
- б) боковое, верхнее, локализованное;
- в) боковое, верхнее, комбинированное.

7. Искусственное освещение по своему конструктивному исполнению разделяется на:

- а) общее, обще локализованное, комбинированное;
- б) общее, местное, комбинированное;
- в) общее, обще локализованное, местное.

8. Для общего освещения в комбинированном должно быть не менее:

- а) 20 %;
- б) 10 %;
- в) 15 %.

9. Для эвакуации людей уровень освещенности основных проходов и запасных выходов на уровне пола должна соответствовать:

- а) не менее 0,4 лк;
- б) не менее 0,5 лк;
- в) не менее 0,3 лк.

10. Для защиты глаз от ослепления святящейся поверхностью защитный угол светильников должен быть:

- а) $(30-45)^{\circ}$;
- б) $(25-40)^{\circ}$;
- в) $(30-50)^{\circ}$.

11. Светильники должны располагаться над рабочим местом вне запретного, равно:

- а) 35° ;
- б) 45° ;
- в) 60° .

Вопросы для повторения

1. Основные понятия и определения применяемые в светотехнике.
2. Факторы световой среды и освещения, определяющие зрительный комфорт.
3. Виды освещения и его нормирование.

4. Краткая характеристика естественного освещения.
5. Единицы измерения и факторы нормирования естественной освещенности.
6. Виды естественного освещения и его характеристика.
7. Виды и системы искусственного освещения.
8. Источники искусственного освещения.
9. Методы регулирования светового потока.
10. Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования.
11. Организация рабочего места для создания комфортных зрительных условий.
12. Расчет естественного освещения методом Данилюка.

РАЗДЕЛ IV ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

4.1. Характеристики ЭМП

Электромагнитное поле (ЭМП) представляет особую форму материи. Всякая электрически заряженная частица окружена электромагнитным полем, составляющим с ней единое целое. Но электромагнитное поле может существовать и в свободном, отделенном от заряженных частиц, состоянии в виде движущихся со скоростью, близкой к $3 \cdot 10^8$ м/с, фотонов или вообще в виде излученного движущегося с этой скоростью электромагнитного поля (электромагнитных волн).

Движущееся ЭМП (электромагнитное излучение — ЭМИ) характеризуется векторами напряженности электрического E (В/м) и магнитного H (А/м) полей, которые отражают силовые свойства ЭМП.

В электромагнитной волне векторы E и H всегда взаимно перпендикулярны. В вакууме и воздухе $E=377 H$. Длина волны λ , частота колебаний f и скорость распространения электромагнитных волн в воздухе c связаны соотношением $c=\lambda f$. Например, для промышленной частоты $f=50$ Гц длина волны $\lambda=3 \times 10^8 / 50 = 6000$ км, а для ультракоротких частот $f=3 \times 10^8$ Гц длина волны равна 1 м. В ЭМП существуют три зоны, которые различаются по расстоянию от источника ЭМП.

Зона индукции имеет радиус, равный

$$R = \frac{\lambda}{2\pi},$$

где λ — длина волны электромагнитного излучения. В этой зоне электромагнитная волна не сформирована и поэтому на человека действует независимо друг от друга напряженность электрического и магнитного полей.

Зона интерференции (промежуточная) имеет радиус, определяемый по формуле

$$\frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda,$$

В этой зоне одновременно воздействуют на человека напряженность электрического, магнитного поля, а также плотность потока энергии.

Дальняя зона характеризуется тем, что это зона сформировавшейся электромагнитной волны. В этой зоне на человека воздействуют только энергетическая составляющая ЭМП — плотность потока энергии. Если

источник ЭМП имеет сверхвысокие частоты (СВЧ), то практически он создает вокруг себя зону энергетического воздействия — дальнюю зону, имеющую радиус:

$$R \geq 2\pi\lambda,$$

Знание длин волн ЭМП, формируемых источником, дает возможность выбора приборов контроля электромагнитного излучения. Для низкочастотных источников ЭМП (НЧ, ВЧ, УВЧ-диапазоны) необходимо использовать приборы, измеряющие электрическую и магнитную составляющие ЭМП, для СВЧ-диапазона — приборы, позволяющие измерять плотность потока энергии ЭМП.

В диапазоне от низких частот до коротковолновых излучений частотой <100 МГц (таблица 26) ЭМП около генератора следует рассматривать как поле индукции, а рабочее место — находящимся в зоне индукции. В зоне индукции электрическое и магнитное поля можно считать независимыми друг от друга. Поэтому нормирование в этой зоне ведется как по электрической, так и по магнитной составляющей. В зоне излучения (волновой зоне), где уже сформировалась бегущая электромагнитная волна, наиболее важным параметром является интенсивность, которая в общем виде определяется векторным произведением E и H , а для сферических волн при распространении в воздухе может быть выражена как

$$I = \frac{P_{\text{ист}}}{4\pi R^2} \text{ Вт/м}^2$$

где $P_{\text{ист}}$ — мощность излучения.

4.2. Источники ЭМП и классификация электромагнитных излучений

Естественными источниками электромагнитных полей и излучений являются прежде всего: атмосферное электричество, радиоизлучения солнца и галактик, электрическое и магнитное поля Земли» Все промышленные и бытовые электро – и радиоустановки являются источниками искусственных полей и излучений, но разной интенсивности. Перечислим наиболее существенные источники этих полей.

Электростатические поля возникают при работе с легко электризующимися материалами и изделиями, при эксплуатации высоковольтных установок постоянного тока.

Источниками постоянных и магнитных полей являются: электромагниты с постоянным током и соленоиды, магнитопроводы в

электрических машинах и аппаратах, литые металлокерамические магниты, используемые в радиотехнике.

Источниками электрических полей промышленной частоты (50 Гц) являются: линии электропередач и открытые распределительные устройства, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, сборные, соединительные шины, вспомогательные устройства, а также все высоковольтные, установки промышленной частоты. Магнитные поля промышленной частоты возникают вокруг любых электроустановок и токопроводов промышленной частоты. Чем больше ток, тем выше интенсивность магнитного поля.

Таблица 28

Спектр электромагнитных излучений

	Название ЭМИ	Диапазон частот, Гц	Длины волн, м
Статические	Постоянные ЭМП	0	-
Низкочастотные	Крайне и сверхнизкие	$3 \times (10^0-10^3)$	10^8-10^{26}
	Инфра- и очень низкие, низкие	$3 \times (10^2-10^4)$	10^6-10^4
Радиочастотные	Длинные волны (ДВ)	$3 \times (10^4-10^5)$	10^4-10^3
	Средние волны (СВ)	$3 \times (10^5-10^6)$	10^3-10^2
	Короткие волны (КВ)	$3 \times (10^6-10^7)$	10^2-10^1
	Ультракороткие (УКВ)	$3 \times (10^7-10^8)$	10^1-10^0
	Микроволны (СВЧ)	$3 \times (10^8-10^{11})$	10^0-10^{-3}
Оптические	Инфракрасные	$3 \times (10^{12}-10^{14})$	$10^{-4}-10^{-6}$
	Видимые	3×10^{14}	$(0,39-0,76) \times 10^{-6}$
	Ультрафиолетовые	$3 \times (10^{14}-10^{16})$	$10^{-6}-10^{-8}$
Ионизирующие	Рентгеновское излучение	$3 \times (10^{17}-10^{19})$	$10^{-9}-10^{-11}$
	Гамма-излучение	$3 \times (10^{20}-10^{22})$	$10^{-12}-10^{-14}$

Источниками электромагнитных излучений радиочастот являются мощные радиостанции, антенны, генераторы сверхвысоких частот, установки индукционного и диэлектрического нагрева, радары, измерительные и контролируемые устройства, исследовательские установки, высокочастотные приборы и устройства в медицине и в быту.

Источником электростатического поля и электромагнитных излучений в широком диапазоне частот (сверх- и инфранизкочастотном, радиочастотном, инфракрасном, видимом, ультрафиолетовом, рентгеновском) являются персональные электронно-вычислительные машины (ПЭВМ) и видеодисплейные терминалы (ВДТ) на электронно-лучевых трубках, используемые как в промышленности, научных исследованиях, так и в быту. Главную опасность для пользователей представляет электромагнитное излучение монитора в диапазоне частот 5 Гц - 400 кГц и Статический электрический заряд на экране.

Источником повышенной опасности в быту с точки зрения электромагнитных излучений являются также микроволновые печи,

телевизоры любых модификаций, мобильные телефоны. В настоящее время признаются источниками риска в связи с последними данными о воздействии магнитных полей промышленной частоты: электроплиты с электроподводкой, электрогрили, утюги, холодильники (при работающем компрессоре) и другие бытовые электроприборы, включая электробритвы и электрочайники.

В таблице 29 представлен весь спектр электромагнитных излучений с указанием принятого на практике названия волн, диапазона частот и длин волн.

4.3. Электромагнитное поле земли – необходимое условие жизни человека

Жизнь на нашей планете возникла в тесном взаимодействии с электромагнитными излучениями и, прежде всего, с электромагнитным полем Земли. Человек приспособился к земному полю в процессе своего развития, и оно стало не только привычным, но и необходимым условием нашей жизни. Как увеличение, так и уменьшение интенсивности естественных полей способны сказаться на биологических процессах.

Электромагнитная сфера нашей планеты определяется в основном электрическим ($E=120-150$ В/м) и магнитным ($H=24-40$ А/м) полями Земли, атмосферным электричеством, радиоизлучением Солнца и галактик, а также полями искусственных источников (мощных радиостанций, промышленного электротермического оборудования, исследовательских установок, измерительных и контролирующих устройств и др.). Как уже отмечалось, диапазон естественных и искусственных полей очень широк: начиная от постоянных магнитных и электростатических полей и кончая рентгеновским и гамма-излучением частотой 3×10^{21} Гц и выше. Каждый из диапазонов электромагнитных излучений по-разному влияет на развитие живого организма. В частности, ЭМИ светового диапазона (с длиной волн $0,39-0,76$ мкм) не только играют огромную роль как сильный физиологический фактор биоритмики живого, но и оказывают мощное информационное воздействие на организм через органы зрения или другие световые рецепторы. В дальнейшем ограничимся рассмотрением наиболее распространенных электромагнитных полей, используемых в технике и науке, а именно ЭМП промышленной частоты, статических полей и ЭМП радиочастот. По поводу естественных полей отметим, что усиление электрического поля перед грозой и во время грозы характеризуется дискомфортом самочувствия человека, а магнитные бури, связанные с солнечной активностью, влияют не только на ослабленных и пожилых людей, но

являются одной из причин многих автодорожных и других аварий. Ослабленные естественные поля стали предметом изучения прежде всего в связи с развитием космонавтики. Опыты над животными, в частности мышами, показывают, что значительное уменьшение геомагнитного поля через определенный отрезок времени (во втором поколении) способно вызвать существенное изменение процессов жизнедеятельности: нарушается деятельность печени, почек, половых желез, но самое главное — появляются опухоли в разных органах. Существует гипотеза ученого из США МакЛина, связывающая увеличение раковых заболеваний человека со снижением магнитного поля нашей планеты, которое по его расчетам за последние 2,5 тыс. лет уменьшилось на 66 %. Экранировка от электрических полей также не проходит бесследно для экспериментальных животных. Было отмечено увеличение смертности подопытных мышей после 2—3 недель пребывания в экранированном от внешних электрических полей пространстве, прежде всего за счет нарушений регуляции обмена веществ в организме.

Еще раз отметим, что если естественное поле Земли необходимо для жизни человека, а слабые искусственные ЭМП неоднозначно воздействуют на живой мир, нередко оказывая благоприятное влияние, то можно утверждать о вредном воздействии сильных полей на животных и человека, которое выражается у людей прежде всего в нарушениях функционального состояния центральной нервной и сердечнососудистой систем.

4.4. Воздействие электромагнитных полей на организм человека

Механизм воздействия ЭМП на биологические объекты очень сложен и недостаточно изучен. Но в упрощенном виде это воздействие можно представить следующим образом: в постоянном электрическом поле молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются и ориентируются по направлению поля: в жидкостях, в частности в крови, под электрическим воздействием появляются ионы и, как следствие, токи. Однако ионные токи будут протекать в ткани только по межклеточной жидкости, так как при постоянном поле мембраны клеток, являясь хорошими изоляторами, надежно изолируют внутриклеточную среду.

При повышении частоты внешнего ЭМП электрические свойства живых тканей меняются: они теряют свойства диэлектриков и приобретают свойства проводников, причем это изменение происходит неравномерно. С дальнейшим возрастанием частоты индуцирование ионных токов постепенно замещается поляризацией молекул.

Переменное поле вызывает нагрев тканей человека как за счет переменной поляризации диэлектрика, так и за счет появления токов проводимости. Тепловой эффект является следствием поглощения энергии электромагнитного поля. На высоких частотах, прежде всего в диапазоне радиочастот (10^5 - 10^{11} Гц), энергия проникшего в организм поля многократно отражается, преломляется в многослойной структуре тела с разными толщинами слоев тканей. Вследствие этого поглощается энергия ЭМП неодинаково, отсюда воздействие на разные ткани происходит также неодинаково.

Тепловая энергия, возникшая в тканях человека, увеличивает общее тепловыделение тела. Если механизм терморегуляции тела не способен рассеять избыточное тепло, возможно повышение температуры тела. Это происходит, начиная с интенсивности поля равной 100 Вт/м^2 , которая называется тепловым порогом. Органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению (мозг, глаза, почки, кишечник, семенники). Перегревание тканей и органов ведет к их заболеваниям, а повышение температуры тела на 1°C и выше недопустимо из-за возможных необратимых изменений.

Исследования показали, что влияние ЭМП высоких частот, и особенно СВЧ, на живой организм обнаруживается и при интенсивностях ниже тепловых порогов, т.е. имеет место их нетепловое воздействие, которое, как предполагают, является результатом ряда микро- процессов, протекающих под действием полей. Отрицательное воздействие ЭМП вызывает обратимые, а также необратимые изменения в организме: торможение рефлексов, понижение кровяного давления (гипотония), замедление сокращений сердца (брадикардия), изменение состава крови в сторону увеличения числа лейкоцитов и уменьшения эритроцитов, помутнение хрусталика глаза (катаракта).

Субъективные критерии отрицательного воздействия ЭМП — головные боли, повышенная утомляемость, раздражительность, нарушение сна, одышка, ухудшение зрения, повышение температуры тела.

Наряду с биологическим действием, электростатическое поле и электрическое поле промышленной частоты обуславливают возникновение разрядов между человеком и другим объектом, имеющим иной, чем у человека, потенциал. Зарегистрированные при этом токи не представляют особой опасности, но могут вызывать неприятные ощущения. В любом случае такого рода воздействия можно предотвратить путем простого заземления крупногабаритных (автобус, крыша деревянного здания и пр.) и протяженных (трубопровод, проволочная изгородь и т.п.) объектов, так как на них из-за большой

емкости накапливается достаточный заряд и существенный потенциал, которые могут обусловить заметный разрядный ток.

В последнее время появляются публикации о возможном влиянии неинтенсивных магнитных полей на возникновение злокачественных заболеваний. В частности, ученые Швеции обнаружили у детей до 15 лет, проживающих около ЛЭП, что при магнитной индукции 0,2 мкТл они заболевают лейкемией в 2,7 раза чаще, чем в контрольной группе; удаленной от ЛЭП, и в 3,8 раза чаще, если индукция выше 0,3 мкТл, т.е. при напряженности магнитного поля около 0,24 А/м!

Существует большое количество гипотез, объясняющих биологическое действие магнитных полей. В основном они сводятся к индуктированию токов в живых тканях и непосредственному влиянию поля на клеточном уровне. В таблице 26 приведены значения напряженности постоянного и низкочастотного магнитного поля, при которой начинает проявляться тот или иной физический механизм при воздействии магнитных полей.

Относительно безвредными для человека в течение длительного времени следует признать МП, имеющие порядок геомагнитного поля и его аномалий, т.е. напряженности МП не более 0,15-0,2 кА/м. При более высоких напряженностях МП начинает проявляться реакция на уровне организма. Характерной чертой этих реакций является длительная задержка относительно начала действия МП, а также ярко выраженный кумулятивный эффект при длительном действии МП. В частности, эксперименты, проведенные на людях, показали, что человек начинает ощущать МП, если оно действует не менее 3-7 с. Это ощущение сохраняется некоторое время (около 10 с) и после окончания действия МП.

Таблица 29

**Проявление физических механизмов в зависимости от
напряженности магнитного поля**

Физические механизмы действия магнитного поля, источники МП, биологические уровни	Напряженность МП, кА/м
Нарушение пространственной ориентации биомолекул	800
Магниторадрогормонный эффект	160
Изменение электропроводности воды	115
ЭДС самоиндукции, соответствующая собственным биопотенциалам	80
Магнитные эффекты в химических реакциях	8-80
Увеличение вязкости воды	11
ПДУ при 8-часовом рабочем дне для постоянного МП	8
Курская магнитная аномалия	0,16
Геомагнитное поле	0,025-0,04

Интересные данные получены проф. А. В. Сосу новым: постоянное магнитное поле напряженностью 48 кА/м стимулировало рост раковых клеток в тканевых культурах, а при напряженности 160 кА/м большинство раковых клеток погибало.

В развитие сведений о воздействии магнитных полей приведем результаты экспериментов Института гигиены труда им. Ф. Ф. Эрисмана. Сотрудники этого института установили, что вода, обработанная магнитным полем в 160 кА/м не вызывает серьезных изменений в организме подопытных крыс. Когда же крысы начинали пить воду, обработанную более сильным магнитным полем (400 кА/м), то у них возникали предпатологические изменения в нервной и кровеносной системах, а также в самой крови. Все это указывает на неоднозначность реакций организма на воздействие ЭМП, прежде всего его магнитной составляющей, и предопределяет большую осторожность при использовании ЭМП, а также тщательность и серьезное обоснование при гигиеническом нормировании полей.

4.5. Принципы нормирования электромагнитных полей

В настоящее время в качестве определяющего параметра при оценке влияния поля как электрического, так и магнитного частотой до 10-30 кГц принято использовать плотность индуктированного в организме электрического тока. Считается, что плотность тока проводимости $j < 0,1$ мкА/см², индуктированного внешним полем, не влияет на работу мозга, так как импульсные биотоки, протекающие в мозгу, имеют большие значения. В таблице 31 представлены возможные эффекты в зависимости от плотности тока, наведенного переменным полем в теле человека.

Оценку опасности для здоровья человека выводят из связи между значением плотности тока, наведенного в тканях, и характеристиками ЭМП. Плотность тока, индуктированного магнитным полем, определяется из выражения: $j = \pi R \gamma f B$, где B - магнитная индукция, Тл, $B = \mu H$; f - частота, Гц; γ — удельная проводимость

Для удельной проводимости мозга принимают $\gamma = 0,2$ Ом/м, для сердечной мышцы $\gamma = 0,25$ Ом/м. Если принять радиус $R = 7,5$ см для головы и 6 см для сердца, произведение γR получается одинаковым в обоих случаях. При таком подходе безопасная для здоровья магнитная индукция получается равной около 0,4 мТл при 50 или 60 Гц, что эквивалентно напряженности магнитного поля $H \leq 300$ А/м.

Плотность тока, индуцированного в теле человека электрическим полем, оценивают по формуле: $j = k \cdot f \cdot E$, с различными коэффициентами k

для области мозга и сердца. Для ориентировочных расчетов, поскольку важно оценить порядок плотности тока j , принято $k=3 \cdot 10^{-3}$ Ом/Гц м.

В области частот от 30 до 100 кГц механизм воздействия полей через возбуждение нервных и мышечных клеток уступает место тепловому воздействию и в качестве определяющего фактора принимается удельная мощность поглощения. При этом считается в соответствии с различными международными предписаниями, что для энергии, поглощенной телом человека, достаточно безопасным пределом является 0,4 Вт/кг (в стандарте ФРГ — VDE 0848, часть 2). В диапазоне частот от 100 МГц до 3 ГГц следует учитывать резонансные эффекты в теле и в области головы, на что при нормировании должна быть сделана поправка.

Таблица 30

**Возможные эффекты в зависимости от плотности тока,
наведенного переменным полем в теле человека**

Плотность индуктированного тока j , мкА/см ²	Наблюдаемые эффекты
0,1	Нет
1,0	Мелькание световых кругов в глазах, аналогичное при надавливании на глазное яблоко
10-50	Острые невралгические симптомы, подобные тем, что вызываются электрическим током, т.е. проявляется стимуляция сенсорных рецепторов и мышечных клеток
Более 100	Возрастает вероятность фибрилляции желудочка сердца, остановка сердечной деятельности, длительный спазм дыхательных мышц, серьезные ожоги

4.6. Нормирование ЭМП радиочастот

Для предупреждения заболеваний, связанных с воздействием радиочастот, установлены предельно допустимые значения напряженности и плотности потока энергии (ППЭ) на рабочем месте персонала и для населения.

Согласно ГОСТ 12.1.006-84, напряженность ЭМП в диапазоне частот 60 кГц — 300 МГц на рабочих местах персонала в течение рабочего дня не должна превышать установленных предельно допустимых уровней (ПДУ):

- по электрической составляющей, В/м:
- 50 — для частот от 60 кГц до 3 МГц;
- 20 — для частот свыше 3 МГц до 30 МГц;
- 10 — для частот свыше 30 МГц до 50 МГц;
- 5 — для частот свыше 50 МГц и до 300 МГц;

по магнитной составляющей, А/М.:

5 — для частот от 60 кГц до 1,5 МГц;

0,3 — для частот от 30 МГц до 50 МГц.

В настоящее время в соответствии со стандартом СЭВ 5801-86, а также согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 определяют ПДУ в диапазоне частот 60 кГц — 300 МГц исходя из энергетической нагрузки (ЭН), которая представляет собой произведение квадрата напряженности поля на время его воздействия. Энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, равна $\text{ЭН}_E = E^2 T$, магнитным — $\text{ЭН}_H = H^2 T$. Откуда значение ПДУ E и H находят из следующих выражений:

$$E_{\text{пду}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{\text{Эпду}}}{T}}, \quad H_{\text{пду}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{\text{Нпду}}}{T}}.$$

Значения ПДУ энергетической нагрузки в течение рабочего дня, а также ПДУ составляющих поля для короткого промежутка времени, определенные по представленным формулам, указаны в таблице 31.

Таблица 31

Значения ПДУ энергетической нагрузки в течение рабочего дня, а также ПДУ составляющих поля для короткого промежутка времени

Параметр	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	от 0,06 до 3	свыше 3 до 30	свыше 30 до 300
$\text{ЭН}_{\text{Эпду}} (\text{В/м})^2 \text{ч}$	20000	7000	800
$\text{ЭН}_{\text{Нпду}} (\text{А/м})^2 \text{ч}$	200	-	-
$E_{\text{пду}} (\text{В/м})$	500	300	80
$H_{\text{пду}} (\text{А/м})$	50	-	-

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне частот 0,06-3 МГц считается допустимым при условии:

$$(\text{ЭН}_E)/(\text{ЭН}_{\text{Эпду}}) + (\text{ЭН}_H)/(\text{ЭН}_{\text{Нпду}}) \leq 1$$

Предельно допустимую плотность потока энергии в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц на рабочих местах персонала устанавливают исходя из допустимого значения энергетической нагрузки W на организм и времени пребывания в зоне облучения, однако во всех случаях она не должна превышать 10 Вт/м², а при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше 28 °С) — 1 Вт/м².

Предельно допустимая плотность потока энергии (в принципе, это плотность мощности, судя по размерности Вт/м², но в технической литературе и нормативной документации, к сожалению, принят термин «плотности потока энергии») определяется по формуле:

$$\text{ППЭ} = W/T,$$

где W — нормированное значение допустимой энергетической нагрузки на организм, равное 2 Вт/м^2 для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 20 Вт/м^2 для облучения от вращающихся и сканирующих антенн; T — время пребывания в зоне облучения, ч.

Предельно допустимые значения (согласно санитарным нормам) электрического поля и плотности потока энергии на территории жилой застройки, а также на рабочих местах лиц, не достигших 18 лет, и женщин в состоянии беременности представлены в таблице 33.

Предельно допустимая ППЭ при эксплуатации микроволновых печей не должна превышать $0,1 \text{ Вт/м}^2$ при трехкратном ежедневном облучении по 40 мин и общей длительности облучения не более 2 ч в сутки.

Согласно «Временным допустимым уровням воздействия ЭМИ, создаваемых системами сотовой радиосвязи» 1994 г., допустимый уровень облучения пользователя сотового телефона не должен превышать 1 Вт/м^2 .

Таблица 32

Предельно допустимые значения электрического поля и плотности потока энергии

F	50 Гц	30-300кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,3-300 ГГц
E,В/м	600	25	15	10	3,0	0,1 Вт/м ²

4.7. Нормирование ЭМП промышленной частоты и статических полей

Для электростатических полей, согласно ГОСТ 12.1.045-84, устанавливается допустимая напряженность поля на рабочих местах по формуле:

$$E = 60 / \sqrt{t} \text{ кВ/м, где } t = 1-9 \text{ ч.}$$

В соответствии с этим стандартом предельное значение напряженности поля $E_{\text{пду}}$, при которой допускается работать в течение часа, равно 60 кВ/м. В течение рабочей смены разрешается работать без специальных мер защиты при напряженности 20 кВ/м.

Для определения допустимого времени в электростатическом поле без защитных мер в зависимости от фактической напряженности $E_{\text{факт}}$ следует пользоваться формулой:

$$t_{\text{доп}} = (E_{\text{пду}} / E_{\text{факт}})^2$$

Для электрического поля промышленной частоты в соответствии с ГОСТ 12.1.002-84 предельно допустимый уровень напряженности

электрического поля, пребывание в котором не допускается без применения специальных средств защиты, равен 25 кВ/м. При напряженности поля свыше 20 кВ/м до 25 кВ/м время пребывания персонала в поле не должно превышать 10 мин.

Согласно стандарту допускается пребывание персонала без специальных средств защиты в течение всего рабочего дня в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м. В интервале свыше 5 кВ/м до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания $T(\text{ч})$ определяется по формуле $T=50/E-2$, где E — напряженность воздействующего поля в контролируемой зоне, кВ/м.

При нахождении персонала в течение рабочего дня в зонах С различной напряженностью ЭП приведенное время пребывания вычисляют по формуле:

$$T_{\text{пр}} = 8 (t_{E1}/T_{E1} + t_{E2}/T_{E2} + \dots + t_{En}/T_{En}),$$

где t_{E1} , t_{E2} , t_{En} и T_{E1} , T_{E2} , T_{En} - фактическое и допустимое время пребывания в зонах с напряженностью E_1 , E_2 и E_n .

При необходимости определения предельно допустимой напряженности электрического поля при заданном времени пребывания в нем уровень напряженности в кВ/м вычисляется по формуле $E=50/(T+2)$, где T — время пребывания в электрическом поле, ч.

Внутри жилых зданий принято $E_{\text{ндв}}=0,5$ кВ/м, на территории зоны жилой застройки — 1 кВ/м.

Для постоянных магнитных полей в соответствии с СН 1742-77 установлена напряженность поля $H_{\text{ндв}}=8$ кА/м в течение рабочей смены при работе с магнитными установками и магнитными материалами.

Для магнитных полей промышленной частоты в соответствии с СН 3206-85 в зависимости от характера воздействия (непрерывного или прерывистого) установлена следующая связь между общим временем T воздействия, в течение рабочего дня и предельно допустимой напряженностью поля $H_{\text{ндв}}$ (таблица 34).

Характер воздействия разделен на группы:

- 1) непрерывное и прерывистое воздействие с длительностью импульса $t_u > 0,02$ с, с длительностью паузы $t_n < 2$ с (и при $t_u > 60$ с)
- 2) прерывистое воздействие с $60 > t_u > 1$ с, $t_n > 2$ с;
- 3) прерывистое воздействие с $0,002 < t_u < 1$ с; $t_n > 2$ с.

Представляется уместным привести рекомендации Международного комитета по неионизирующим излучениям от 1990 г. о ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты для профессионалов (персонала) и населения (таблица 35).

Для сравнения с зарубежными нормами приведем данные наиболее авторитетных и полных во всем частотном диапазоне от 0 до 300 ГГц

немецких стандартов применительно ЭМП промышленной частоты и статических полей.

Таблица 33

Связь, между общим временем воздействия в течение рабочего дня и предельно допустимой напряженностью поля

Т,ч	Н _{пдв} ,кА/м		
	1	1	1
<1,0	6,0	8,0	10,0
<2,0	4,9	6,9	8,9
<3,0	4,0	6,0	8,0
<4,0	3,2	5,2	7,2
<5,0	2,6	4,6	6,6
<6,0	2,0	4,0	6,0
<7,0	1,6	3,6	6,6
<8,0	1,4	3,4	5,4

Таблица 34

Рекомендации Международного комитета по неионизирующим излучениям от 1990 г. о ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты

Время пребывания в поле	Е (кВ/м)	Н(мТл)
Профессионалы		
В течение рабочего дня	10	0,5
Короткое время	30	6 (<2 ч в день)
Для частей тела	-	25
Население		
Вплоть до 24 ч в день	5	0,1 (80 А/м)
Несколько часов в день	10	1

Для электростатического поля в течение рабочего дня по немецким нормам $E=40$ кВ/м (у нас 20 кВ/м), для постоянного магнитного поля — $H = 16$ кА/м (у нас 8 кА/м).

Для напряженности электрического поля промышленной частоты в течение рабочего дня $E=20$ кВ/м (у нас 5 кВ/м), для напряженности магнитного поля промышленной частоты $H=4$ кА/м (у нас 1,4 кА/м).

Сравнение показывает, что наши нормы для персонала по постоянным полям жестче в 2 раза, а по ЭМП промышленной частоты — в 3-4 раза. Это свидетельствует об определенном запасе, заложенном в наши действующие нормы.

4.8. Факторы риска при работе с компьютерами, нормы и рекомендации для защиты от ЭМП при эксплуатации компьютеров

Компьютеры заняли прочное место в современной жизни, без них невозможно представить не только трудовую, но и другие сферы деятельности, хотя от первого электронно-вычислительного монстра весом около 50 т, созданного в Пенсильванском университете для расчета траекторий полета артиллерийских снарядов и запоминавшего одновременно всего лишь 20 чисел, до суперсовременных портативных компьютеров с колоссальным объемом памяти и феноменальной скоростью расчетов прошло чуть больше 50 лет. Первые персональные компьютеры появились в 1975 г.

Не затрагивая социальных и других аспектов вторжения компьютеров в нашу жизнь, следует заметить, что, к сожалению, не все пользователи представляют себе, какие многочисленные опасности заключены в этом «черном ящике», особенно если неграмотно его эксплуатировать.

С точки зрения, безопасности труда, на здоровье пользователей прежде всего влияют повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, длительное неизменное положение тела в процессе работы и воздействие электромагнитных полей, которое является наиболее опасным и коварным, так как действует незаметно и проявляется не сразу. Исследованиями Центра электромагнитной безопасности наиболее распространенных на нашем рынке компьютеров установлено, что «уровень ЭМП в зоне размещения пользователя превышает биологически опасный уровень».

Последствиями регулярной работы с компьютером без применения защитных мер являются:

- заболевания органов зрения (у 60 % пользователей);
- болезни сердечнососудистой системы (у 60 %);
- заболевания желудочно-кишечного тракта (у 40 %);
- кожные заболевания (у 10 %);
- различные опухоли, прежде всего мозга.

Особенно опасно электромагнитное излучение компьютера для детей и беременных женщин. Установлено, что у беременных женщин, работающих на компьютерах с дисплеями на электронно-лучевых трубках, с 90 %-й вероятностью в 1,5 раза чаще случаются выкидыши и в 2,5 раза чаще появляются на свет дети с врожденными пороками.

Связь между основными факторами риска и возможными нарушениями здоровья

Факторы риска	Нарушения зрения	Кожные заболевания	Стресс	Патология беременности
Статическое электричество	+	+	?	?
ЭМП	?	-	?	+
Рентгеновские излучения	?	-	-	+
Ультрафиолетовое излучение	+	?	?	?
Мерцание изображения	+	-	+	?
Яркий видимый свет	+	-	+	-
Блики и отраженный свет	+	-	+	-

Условные обозначения: + есть связь; - связи нет; ? - связь возможна.

Первые нормативные документы, регламентирующие требования безопасности при эксплуатации компьютеров, были введены в нашей стране в 1988 г. В этих документах, действовавших до самого последнего времени, наиболее слабым местом были нормы по полям, особенно в сравнении с западными аналогами.

В настоящее время широкое распространение в странах Европы нашли требования шведских стандартов, которые намного (в десятки раз) жестче требований существующих ГОСТов по электромагнитным полям для персонала, применявшихся, однако, и для пользователей ЭВМ, среди которых много детей, пожилых и других лиц с ослабленным здоровьем.

С 1 января 1997 г. шведские нормы наконец приняты и у нас. Согласно СанПиН 2.2.2.542-96 в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц напряженность электрического поля E не должна превышать 25 В/м, а магнитная индукция $B=250$ нТл, что равнозначно напряженности магнитного поля $H=0,2$ А/м.

В диапазоне частот 2-400 кГц — $E \leq 2,5$ В/м, а $H \leq 0,02$ А/м, Эти значения должны характеризовать ЭМП на расстоянии 50 см от видеодисплейных терминалов вокруг них, так как ЭМИ от компьютера распространяются в пространстве во всех направлениях, а не только от экрана. В связи с этим согласно СанПиН расстояние между тыльной поверхностью одного видеомонитора и экраном другого должно быть не менее 2м, а между боковыми поверхностями — не менее 1,2м.

При индивидуальном использовании ПЭВМ или однорядном их расположении необходимо установить защитное покрытие на заднюю и боковые стенки ПЭВМ. Согласно Правилам регламентируется также поверхностный электростатический потенциал, который не должен превышать 500 В. При эксплуатации компьютеров ранних поколений в обязательном порядке надо применять защитный экран на мониторе,

причем экран необходимо заземлять. Следует выбирать наиболее прозрачный экран, так как при работе с темным (менее 50 % прозрачности) приходится увеличивать яркость, что сокращает срок службы монитора и увеличивается интенсивность излучения, особенно в области наиболее вредных низких частот.

Более поздние мониторы с маркировкой Low Radiation практически удовлетворяют требованиям шведских стандартов и СанПиН по уровню ЭМИ. Компьютеры с жидкокристаллическим экраном не наводят статического электричества и не имеют источников относительно мощного электромагнитного излучения. При использовании блока питания возникает некоторое превышение уровня на промышленной частоте, поэтому рекомендуется работать от аккумулятора.

Наиболее эффективная система защиты от излучений реализуется созданием дополнительного металлического внутреннего корпуса, замыкающегося на встроенный закрытый экран. При такой конструкции удастся уменьшить электрическое и электростатическое поле до фоновых значений уже на расстоянии 5-7 см от корпуса, а при компенсации магнитного поля такая конструкция обеспечивает максимально возможную в наше время безопасность.

На рис. 38 представлены зоны компьютерного излучения без средств защиты от ЭМИ и при их применении.

Во всех случаях для снижения уровня облучения монитор рекомендуется располагать на расстоянии вытянутой руки пользователя. Оптимальным считается расстояние до экрана 60-70 см и ни в коем случае ближе 50 см.

Появился новый показатель напряженности труда — наблюдение за экранами видеотерминалов. Оптимальным устанавливается наблюдение до 2 ч в смену, допустимым до 3 ч. Свыше 3 ч — это напряженность (вредность) первой степени, а свыше 4 ч — напряженность второй степени. Зрительная нагрузка больше этого времени просто не допускается. Большое значение в возникновении зрительного перенапряжения имеет качество визуальных параметров изображения на дисплее, которых насчитывается более двадцати. Требования к ним, а также комиссионным параметрам компьютеров установлены в новых государственных стандартах (ГОСТ Р 50923-96, ГОСТ 50948-96, ГОСТ Р 50949-96).

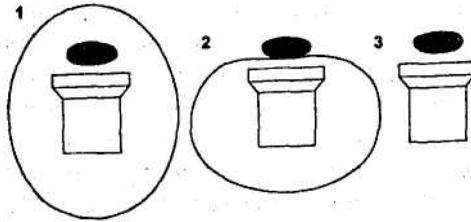


Рис. 53 Зоны распространения электромагнитных полей вокруг монитора с различной системой защиты: 1 — монитор без системы электромагнитной защиты; 2 — монитор с защитным фильтром на экране; 3 — монитор с полной электромагнитной защитой.

Уровень глаз при вертикально расположенном экране ВДТ должен приходиться на центр или 2/3 высоты экрана. Линия зрения должна быть перпендикулярна центру экрана.

Для обеспечения метеоусловий площадь на одно рабочее место с ВДТ и ПЭВМ должна быть не менее 6,0 кв. м. Освещенность на поверхности стола должна быть 300-500 лк, а уровень шума на рабочих местах не должен превышать 50 дБА.

Даже если все параметры компьютера, среды и рабочего места соответствуют нормативным требованиям и рекомендациям, при частой и продолжительной работе за ВДТ велика вероятность, что у пользователя будет развиваться компьютерная болезнь с ее негативными последствиями для здоровья. В США жалобы на проявления этой болезни, названной синдромом стресса оператора дисплея, встречаются более чем у половины пользователей. На возникновение и характер развития болезни большое влияние оказывает режим труда и отдыха, который зависит от вида и категории трудовой деятельности. Длительность работы преподавателей вузов в дисплейных классах не должна превышать 4 ч в день, а максимальное время занятий для первокурсников — 2 ч в день, студентов же старших курсов — 3 академических часа при соблюдении регламентированных перерывов и профилактических мероприятий: упражнений для глаз, физкультминуток и физкультпауз.

При работе с компьютером для сохранения здоровья необходимо неукоснительно соблюдать требования правил и рекомендаций по защите от вредных воздействий, в том числе и, прежде всего электромагнитных излучений.

4.9. Приборы для измерений напряженности электрического и магнитного полей и плотности потока энергии ЭМП

Для измерения напряженности электростатического поля (ЭСП) в пространстве рекомендуются приборы ИНЭП-1, ИЭСП-1, ИНЭП-20Д, имеющие диапазон измерений 0,2-2500 кВ/м, для ЭСП на поверхности — ИЭЗ-П с пределом измеряемых значений 4-500 кВ/м.

Для измерения напряженности постоянного магнитного поля используются приборы Ш1-8 и Ф4355, имеющие диапазон измерений 0-1600 кА/м.

Для измерения напряженности магнитного поля промышленной частоты отечественная промышленность выпускает прибор Г-79 с диапазоном измерений 0-15 кА/м в диапазоне 0,02-20 кГц.

Для измерений напряженности электрического поля промышленной частоты стандарт рекомендует прибор NFM-1, производившийся в Германии. Данный прибор пригоден и для измерений магнитного поля, так как работа его основана на законе электромагнитной индукции. Для измерения E используются антенны дипольной системы, а для измерения H — рамочные антенны. Прибор работает в широком диапазоне частот. На 50 Гц диапазон измерений E — (2—40) кВ/м, в частотном диапазоне 60 кГц — 300 МГц электрическое поле измеряется в пределах 4-1500 В/м. Магнитное поле измеряется в диапазоне 0,1-1,5 МГц для значений 0,5-300 А/м. Погрешность всех измерений доходит до 25 %.

Из отечественных приборов можно указать ИЭМП-1, который пригоден для измерений $E=5-100$ В/м в диапазоне 50 Гц-30 МГц и для измерений $H=0,5-300$ А/м в диапазоне 100 кГц — 1,5 МГц. Погрешность измерений также высока: до 20 %. Выпускаются также ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 для измерения $E=1-3000$ В/м в диапазоне 0,01-300 МГц. В настоящее время налажен выпуск ПЗ-21, ПЗ-22, позволяющих измерять H от 0,3 до 500 А/м.

Для измерений ЭМП сверхвысоких частот, то есть начиная с 300 МГц и выше, пригодны ПЗ-9, ПЗ-18, ПЗ-19, ПЗ-20. Диапазон измерений 1 мкВт/см²-100 мВт/см² с допустимой погрешностью до 30-40 %.

4.10. Методы и средства защиты от ЭМП

При несоответствии требованиям норм в зависимости от рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, уровня облучения и необходимой эффективности защиты применяют следующие способы и средства защиты или их комбинации: защита временем и расстоянием; уменьшение параметров излучения непосредственно в самом источнике излучения; экранирование источника излучения; экранирование рабочего места; рациональное размещение установок в рабочем помещении;

установление рациональных режимов эксплуатации установок и работы обслуживающего персонала; применение средств предупреждающей сигнализации (световая, звуковая и т.д.); выделение зон излучения; применение средств индивидуальной защиты.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в рабочей зоне, если интенсивность облучения превышает нормы, установленные при условии облучения в течение смены, и применяется, когда нет возможности снизить интенсивность облучения до допустимых значений другими способами. Допустимое время пребывания зависит от интенсивности облучения.

Защита расстоянием применяется, когда невозможно ослабить интенсивность облучения другими мерами, в том числе и сокращением времени пребывания человека в опасной зоне. В этом случае увеличивают расстояние между источником излучения и обслуживающим персоналом; Этот вид защиты основан на быстром уменьшении интенсивности поля с расстоянием, что хорошо видно из формул. В ближней зоне, протяженность которой $R \leq \lambda/2\pi$, где λ - длина волны, излучения,

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}},$$

напряженности электрической и магнитной составляющих поля убывают в зависимости от расстояния следующим образом:

$$E = \frac{i}{2\pi\omega R^3}; \quad H = \frac{i}{4\pi R^2},$$

где i — ток в проводнике (антенне), А; l — длина проводника (антенны), м; ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; ω — угловая частота поля, $\omega = 2\pi f$, f — частота поля, Гц; R - расстояние от точки наблюдения до источника излучения, м.

Для одиночного прямолинейного проводника с током напряженность магнитного поля H легко определить по закону полного тока $H = I/2\pi R$, где I — ток, R — расстояние от провода до рассматриваемой точки. Например, при токе в однофазной системе, равном 5 А, и при условии, что обратный провод находится на достаточном расстоянии, чтобы его полем пренебречь, на расстоянии 0,1 м $H = 5/2\pi \cdot 0,1 = 8$ А/м. Такие значения магнитного поля промышленной частоты при длительном (месяцами) воздействии на людей в свете новых данных представляются небезвредными.

Для дальней зоны ($R \gg \lambda/2\pi$) эффективность поля оценивается чаще всего по плотности потока мощности S :

$$S = P \cdot G / (4\pi R^2),$$

где P — мощность излучения, Вт; G — коэффициент усиления антенны.

Оценим мощность облучения мозга при пользовании сотовым телефоном. Приняв $P=1$ Вт, $R=0,1$ м, $G=1$, получим:

$$S = \frac{1 \cdot 1}{2\pi \cdot 0,01} = 16 \text{ Вт/м}^2,$$

что выше предельно допустимого уровня, и уменьшение облучения возможно лишь за счет уменьшения мощности мобильного телефона. Для уменьшения последствий можно рекомендовать не прижимать телефон к уху, прикладывать во время беседы то к одному, то к другому уху и резко сократить разговор до 2-3 мин.

Уменьшение излучения непосредственно в самом источнике достигается за счет применения согласованных нагрузок и поглотителей мощности. Поглотители мощности, ослабляющие интенсивность излучения до 60 дБ (10^6 раз) и более, представляют собой коаксиальные или волноводные линии, частично заполненные поглощающими материалами, в которых энергия излучения преобразуется в тепловую. Заполнителями служат: чистый графит или в смеси с цементом, песком и резиной; пластмассы; порошковое железо в бакелите, керамике и т.п.; дерево; вода и ряд других материалов.

Уровень мощности можно снизить также с помощью аттенуаторов (от французского *attenuer* — уменьшать, ослаблять) плавно-переменных и фиксированных. Выпускаемые промышленностью аттенуаторы позволяют ослабить в пределах от 0 до 120 дБ излучение мощностью 0,1-100 Вт и длиной волны 0,4-300 см.

Наиболее эффективным и часто применяемым методом защиты от электромагнитных излучений является экранирование самого источника или рабочего места. Формы и размеры экранов разнообразны и соответствуют условиям применения.

Качество экранирования характеризуется степенью ослабления ЭМП, называемой эффективностью экранирования. Она выражается отношением значений величин E , H , S в данной точке при отсутствии экрана к значениям E_0 , H_0 , S_0 в той же точке при наличии экрана. На практике обычно ослабление излучения оценивают в децибелах и определяют по одной из следующих формул:

$$L = 20 \lg (E/E_0); L = 20 \lg (H/H_0); L = 10 \lg (S/S_0).$$

Экраны делятся на отражающие и поглощающие. Защитное действие отражающих экранов обусловлено тем, что воздействующее поле наводит в толще экрана вихревые токи, магнитное поле которых направлено противоположно первичному полю. Результирующее поле очень быстро убывает в экране, проникая в него на незначительную величину. Глубину проникновения δ для любого заранее заданного ослабления поля L можно вычислить по формуле:

$$\delta = \ln L / \sqrt{\omega \mu \gamma / 2},$$

где μ и γ — соответственно, магнитная проницаемость (Г/м) и электрическая проводимость (Ом/м) материала. На расстоянии, равном длине волны, ЭМП в проводящей среде почти полностью затухает, поэтому для эффективного экранирования толщина стенки экрана должна быть примерно равна длине волны в металле.

Глубина проникновения ЭМП высоких и сверхвысоких частот очень мала, например для меди она составляет десятые и сотые доли миллиметра, поэтому толщину экрана выбирают по конструктивным соображениям.

В ряде случаев для экранирования применяют металлические сетки, позволяющие производить осмотр и наблюдение экранированных установок, вентиляцию и освещение экранированного пространства. Сетчатые экраны обладают худшими экранирующими свойствами по сравнению со сплошными. Их применяют в тех случаях, когда требуется ослабить плотность потока мощности на 20-30 дБ (в 100-1000 раз).

Все экраны должны заземляться. Швы между отдельными листами экрана или сетки должны обеспечивать надежный электрический контакт между соединяемыми элементами.

Средства защиты (экраны, кожухи и т.п.) из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких резиновых ковриков, гибких или жестких листов поролона или волокнистой древесины, пропитанной соответствующим составом, ферромагнитных пластин. Коэффициент отражения указанных материалов не превышает 1-3 %. Их склеивают или присоединяют к основе конструкции экрана специальными скрепками.

Электромагнитная энергия, излучаемая отдельными элементами электротермических установок и радиотехнической аппаратуры, при отсутствии экранов (настройка, регулировка, испытания) распространяется в помещении, отражается от стен и перекрытий, частично проходит сквозь них и в небольшой степени рассеивается в них. В результате образования стоячих волн в помещении могут создаваться зоны с повышенной плотностью ЭМИ. Поэтому работы рекомендуется проводить в угловых помещениях первого и последнего этажей зданий.

Для защиты персонала от облучений мощными источниками ЭМИ вне помещений необходимо рационально планировать территорию радицентра, выносить службы за пределы антенного поля, устанавливать безопасные маршруты движения людей, экранировать отдельные здания и участки территории.

Зоны излучения выделяются на основании инструментальных замеров интенсивности облучения для каждого конкретного случая размещения аппаратуры. Установки ограждают или границу зоны отличают яркой краской на полу помещения, предусматриваются цвета

сигнальные и знаки безопасности согласно ГОСТ 12.4.026-76. Для защиты от электрических полей воздушных линий электропередач необходимо выбрать оптимальные геометрические параметры линии (увеличение высоты подвеса фазных проводов ЛЭП, уменьшение расстояния между ними и т.п.), что снизит напряженность поля вблизи ЛЭП в 1,6-1,8 раза.

Для открытых распределительных устройств рекомендуются экранирующие устройства, которые в зависимости от назначения подразделяют на стационарные и временные. Выполняют их в виде козырьков, навесов и перегородок из - металлической сетки на раме из уголкового стали. Экранирующие устройства необходимо заземлять. Применением заземленных тросов, подвешенных на высоте 2,5 м над землей под фазами соединительных шин ОРУ 750 кВ, удалось уменьшить потенциал в рабочей зоне на высоте 1,8 м, т.е. на уровне роста человека, с 30 до 13 кВ.

По значениям потенциала ϕ_h или напряженности поля E_h в зоне нахождения человека можно оценить значение проходящего через человека емкостного тока, обусловленного электрическим полем, который в течение рабочей смены не должен превышать 50-60 мкА:

$$I_h = 10 \phi_h \text{ (мкА)}; I_h = 12 E_h \text{ (мкА)},$$

где ϕ_h в кВ, E_h в кВ/м.

Если ток больше указанных значений, то при длительной работе человека в этих условиях надо принимать меры, снижающие ток, а именно: использовать экранирующие костюмы и экранирующие устройства.

Отметим, что экранирующие устройства, предназначенные для защиты от электрических полей промышленной частоты и определяемые в основном соображениями механической прочности, могут оказаться малоэффективными от воздействия магнитных полей, т.к. при частоте $f=50$ Гц электромагнитная волна проникает в медь на несколько сантиметров, и даже экран из ферромагнитного материала, у которого $\mu=1000 \mu_0$, должен иметь толщину стенки не меньше 4-5 мм.

При выполнении ряда работ, например по настройке и отработке аппаратуры, оператору неизбежно приходится находиться в зоне электромагнитных излучений иногда большой плотности потока мощности. В этих случаях необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты, к которым относятся комбинезоны и халаты из металлизированной ткани, осуществляющие защиту организма человека по принципу сетчатого экрана.

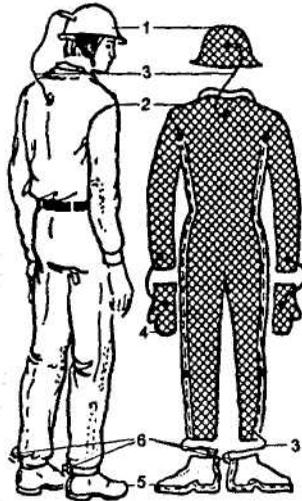


Рис. 54: 1 — металлическая или металлизированная каска; 2 — комбинезон из токопроводящей ткани; 3 — проводники, обеспечивающие связь между отдельными элементами; 4 — рукавицы из токопроводящей ткани; 5 — ботинки с токопроводящими подошвами; 6 — вывод из токопроводящей

Для защиты глаз от ЭМИ предназначены защитные очки с металлизированными стеклами типа ЗП5-80 (ГОСТ 12.4.013-75). Поверхность однослойных стекол, обращенная к глазу, покрыта бесцветной прозрачной пленкой двуокиси олова, которая дает ослабление электромагнитной энергии до 30 дБ при светопропускании не ниже 75 %.

Для защиты персонала от действия электрического поля при работах в действующих электроустановках промышленной частоты сверхвысокого напряжения, а также при работах под напряжением на воздушных линиях электропередач высокого напряжения применяется экранирующий костюм, который изготавливается в виде комбинезона или куртки с брюками (рис. 39). В комплект костюма входят также металлическая или пластмассовая металлизированная каска, специальная обувь, рукавицы или перчатки, покрытые токопроводящей тканью. Все части экранирующего костюма соединяются между собой специальными проводниками для обеспечения надежной электрической связи.

Для контроля уровней ЭМП применяют различные измерительные приборы в зависимости от диапазона частот. Измерения проводят в зоне нахождения персонала от уровня пола до высоты 2 м через каждые 0,5 м. Для определения характера распространения и интенсивности ЭМП в цехе или кабине измерения проводятся в точках пересечения

координатной сетки со стороны 1 м. Все измерения проводятся при максимальной мощности источника ЭМП.

4.11. Средства защиты от электромагнитных полей радиочастот

Защита персонала от воздействия электромагнитных полей радиочастот (ЭМИ РЧ) осуществляется путем проведения организационных и инженерно-технических, лечебно-профилактических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты.

К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия ЭМИ РЧ (защита расстоянием и временем) и т.п.

Инженерно-технические мероприятия включают: рациональное размещение оборудования; использование средств, ограничивающих поступление электромагнитной энергии на рабочие места персонала (поглотители мощности, экранирование, использование минимальной необходимой мощности генератора); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМИ РЧ.

Лечебно-профилактические мероприятия осуществляются в целях предупреждения, ранней диагностики и лечения нарушений в состоянии здоровья работников, связанных с воздействием ЭМИ РЧ, и включают предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры.

К средствам индивидуальной защиты относятся защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда (комбинезоны, халаты и т.д.).

Способ защиты в каждом конкретном случае должен определяться с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ необходимой эффективности защиты.

В поглощающих экранах используются специальные материалы обеспечивающие поглощение излучения соответствующей длины волны. В зависимости от излучаемой мощности и взаимного расположении источника и рабочих мест конструктивное решение экрана может быть различным (замкнутая камера, щит, чехол, штора и т.д.).

При изготовлении экрана в виде замкнутой камеры вводы волноводов, коаксиальных фидеров, воды, воздуха, выходы ручек управления и элементов настройки не должны нарушать экранирующих свойств камеры.

Экранирование смотровых окон, приборных панелей проводится с помощью радиозащитного стекла. Для уменьшения просачивания электромагнитной энергии через вентиляционные жалюзи последние

экранируются металлической сеткой либо выполняются в виде предельных волноводов.

Уменьшение утечек энергии из фланцевых сочленений волноводов достигается путем применения «дрессельных фланцев», уплотнения сочленений с помощью прокладок из проводящих (фосфористая бронза, медь, алюминий, свинец и другие металлы) и поглощающих материалов, осуществления дополнительного экранирования.

Средства индивидуальной защиты следует использовать в случаях, когда снижение уровней ЭМИ РЧ с помощью общей защиты технически невозможно. Если защитная одежда изготовлена из материала, содержащего в своей структуре металлический провод, она может использоваться только в условиях, исключающих прикосновение к открытым токоведущим частям установок.

При работе внутри экранированных помещений (камер) стены, пол и потолок этих помещений должны быть покрыты радиопоглощающими материалами. В случае неправильного излучения допускается применение поглощающих покрытий только на соответствующих участках стен, потолка, пола.

В тех случаях, когда уровни ЭМИ РЧ на рабочих местах внутри экранированного помещения превышают ПДУ, персонал необходимо выводить за пределы камер.

В зависимости от условий облучения, характера и места нахождения источников ЭМИ РЧ могут быть применены различные средства и методы защиты от облучения: защита временем; защита расстоянием; экранирование источника излучения; уменьшение излучения непосредственно в самом источнике излучения; экранирование рабочих мест; средства индивидуальной защиты; выделение зон излучения.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле и применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения до допустимых значений.

Таблица 36

Предельно допустимые уровни напряженности электрической $E_{\text{пду}}$ и магнитной $H_{\text{пду}}$ составляющих в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия t , ч.	$E_{\text{пду}}$, В/м			$H_{\text{пду}}$, А/м	
	0.03-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0.03-3 МГц	30-50 МГц
1	2	3	4	5	6
8,0 и более	50	30	10	5,0	0,30
7,5	52	31	10	5,0	0,31
7,0	53	32	11	5,3	0,32

Окончание табл. 36

1	2	3	4	5	6
6,5	55	33	11	5,5	0,33
6,0	58	34	12	5,8	0,34
5,5	60	36	12	6,0	0,36
5,0	63	37	13	6,3	0,38
4,5	67	39	13	6,7	0,40
4,0	71	42	14	7,1	0,42
3,5	76	45	15	7,6	0,45
3,0	82	48	16	8,2	0,49
2,5	89	52	18	8,9	0,54
2,0	100	59	20	10,0	0,60
1,5	115	68	23	11,5	0,69
1,0	141	84	28	14,2	0,85
0,5	200	118	40	20,0	1,20
0,25	283	168	57	28,3	1,70
0,125	400	236	80	40,0	2,40
0,08 и менее	500	296	80	50,0	3,00

ПРИМЕЧАНИЕ. При продолжительности воздействия менее 0,08 ч дальнейшее повышение интенсивности воздействия не допускается.

Таблица 37

**Предельно допустимые уровни плотности потока энергии
(ППЭпду) в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц в зависимости от
продолжительности воздействия**

Продолжительность воздействия, t ч	ППЭпду, мкВт/см ²
8,0 и более	25
7,5	27
7,0	29
6,5	31
6,0	33
5,5	36
5,0	40
4,5	44
4,0	50
3,5	57
3,0	67
2,5	80
2,0	100
1,5	133
1,0	200
0,5	400
0,25	800
0,20 и менее	1000

ПРИМЕЧАНИЕ. При продолжительности воздействия менее 0,2 часа дальнейшее повышение интенсивности воздействия не допускается.

Защита расстоянием применяется в том случае, если невозможно ослабить интенсивность облучения другими мерами, в том числе и сокращением времени пребывания человека в опасной зоне. В этом случае прибегают к увеличению расстояния между излучателем и обслуживающим персоналом.

Уменьшение мощности излучения непосредственно в самом источнике излучения достигается за счет применения специальных устройств. С целью предотвращения излучения в рабочее помещение в качестве нагрузки генераторов вместо открытых излучателей применяют поглотители мощности (эквивалент антенны и нагрузки источников ЭМИ РЧ), при этом интенсивность излучения ослабляется до 60 дБ и более. Промышленностью выпускаются эквиваленты антенн, рассчитанные на поглощение излучения мощностью 5, 10, 30, 50, 100 и 250 Вт с длинами волн 3,1-3,5 и 6-1000 см.

Снижение уровня мощности может быть достигнуто с помощью аттенуаторов, которые позволяют ослабить в пределах от 0 до 120 дБ излучение мощностью 0,1; 0,5; 1,5; 10; 50 и 100 Вт и длинами волн 0,4...0,6; 0Д..300 см.

Экранирование источников излучения используется для снижения интенсивности электромагнитного поля на рабочем месте или устранения опасных зон излучения. В этом случае применяются экраны из металлических листов или сеток в виде замкнутых камер, шкафов и кожухов.

Основной характеристикой каждого экрана является степень ослабления \mathcal{E} электромагнитного поля, называемая эффективностью экранирования, которая представляет собой отношение $E, H, ППЭ$ в данной точке при отсутствии экрана к $E, H, ППЭ$ в той же точке при наличии экрана:

$$\mathcal{E} = \frac{E}{E_{\mathcal{E}}}; \quad \mathcal{E} = \frac{H}{H_{\mathcal{E}}}; \quad \mathcal{E} = \frac{ППЭ}{ППЭ_{\mathcal{E}}}.$$

Экранирование источников ЭМИ РЧ или рабочих мест осуществляется с помощью отражающих или поглощающих экранов (стационарных или переносных). Отражающие экраны выполняются из металлических листов, сетки, ткани с микропроводом и др.

**Экранирующие материалы для изготовления средств защиты
от ЭМИ РЧ в диапазоне частот 30 МГц - 40 ГГц**

Наименование материала	ГОСТ, ТУ	Толщина, мм	Диапазон частот, Гц	Ослабление, дБ
Листовая СтЗ	ГОСТ 19903—74	1,4	30 МГц - 40 ГГц	100
Фольга алюминиевая	ГОСТ 618—73	0,08	—	80
Фольга медная	ГОСТ 5638—75	0,08	—	80
Сетка стальная тканая	ГОСТ 5336—73	0,3—1,3	—	30
Радиозащитное стекло с одно- или двусторонним полупроводниковым покрытием	ТУ 21-54-41—73	6	30 МГц — 30 ГГц	20-40
Ткань хлопчатобумажная с микропроводом	ОСТ 17-28—79	—	—	20-40
Ткань металлизированная «Восход»	—	—	10 кГц - 30 ГГц	40-65
Ткань трикотажная (полиамид + проволока)	Ту-6-06-С202—90	—	300 кГц - 30 МГц	15-40

ПРИМЕЧАНИЕ. На основе экранирующих материалов изготовлены средства индивидуальной защиты: очки защитные с металлизированными стеклами ОРЗ—5, ТУ 64—1-е 2717—81; щитки защитные лицевые ГОСТ 12.4.023—84.

Тест

1. Зона индукции ЭМП имеет радиус:

а) $R = \frac{\lambda}{2\pi}$;

б) $R = \frac{\lambda}{\pi}$;

в) $R > \frac{\lambda}{2\pi}$.

2. Зона интерференции ЭМП имеет радиус:

а) $R = 2\pi\lambda$;

б) $\frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda$;

в) $R = \pi\lambda$.

3. Зона энергетического воздействия (дальняя зона) ЭМП имеет радиус:

- а) $R \geq \pi\lambda$;
- б) $R \geq 2\pi\lambda$;
- в) $2\pi\lambda < R < \pi\lambda$.

4. С укорочением длины волны ЭМИ биологическая активность:

- а) возрастает;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется.

5. Защита от ЭМП включает:

- а) организационные, инженерно-технические, лечебно-профилактические мероприятия;
- б) организационные, инженерно-технические, лечебно-профилактические мероприятия и использования СИЗ;
- в) инженерно-технические, лечебно-профилактические мероприятия и использование СИЗ.

6. При увеличении продолжительности воздействия ПДУ ЭМП должны:

- а) увеличиваться;
- б) уменьшаться;
- в) не изменяться.

7. При увеличении частоты ЭМИ ПДУ ЭМП длины:

- а) уменьшаться;
- б) увеличиваться;
- в) не изменяться.

Вопросы для повторения

1. Основная характеристика электромагнитного поля.
2. Источники электромагнитных полей.
3. Спектр электромагнитных полей.
4. Влияние ЭМП на организм человека.
5. Принципы нормирования ЭМП.
6. Нормирование ЭМП радиочастот.
7. Нормирование ЭМП промышленной частоты.

8. Рекомендации для защиты от ЭМП при эксплуатации компьютеров.
9. Приборы для измерений напряженности электрического поля.
10. Приборы для измерения напряженности магнитного поля.
11. Приборы для измерения плотности потока энергии ЭМП.
12. Методы и средства защиты от ЭМП.
13. Защита расстоянием.
14. Экранирование источника и рабочего места.

РАЗДЕЛ V. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Ионизирующим излучением называется излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов разного знака. Ионизирующее излучение состоит из заряженных и незаряженных частиц, к которым относятся также фотоны. Энергию частиц ионизирующего излучения измеряют во внесистемных единицах — электрон-вольтах, эВ.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Различают корпускулярное и фотонное ионизирующее излучение.

Корпускулярное ионизирующее излучение — поток элементарных частиц с массой покоя, отличной от нуля, образующихся при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, либо генерируемых на ускорителях. К нему относятся: α - и β -частицы, нейтроны (n), протоны (p) и др.

α -излучение — это поток частиц, являющихся ядрами атома гелия и обладающих двумя единицами заряда. Энергия α -частиц, испускаемых различными

радионуклидами, лежит в пределах 2-8 МэВ. При этом все ядра данного радионуклида испускают α -частицы, обладающие одной и той же энергией.

β -излучение — это поток электронов или позитронов. При распаде ядер активного радионуклида, в отличие от α -распада, различные ядра данного радионуклида испускают β -частицы различной энергии, поэтому энергетический спектр β -частиц непрерывен. Средняя энергия β -спектра составляет примерно $0,3 E_{\max}$.

Максимальная энергия β -частиц у известных в настоящее время радионуклидов может достигать 3,0-3,5 МэВ.

Нейтроны (нейтронное излучение) — нейтральные элементарные частицы. Поскольку нейтроны не имеют электрического заряда, при прохождении через вещество они взаимодействуют только с ядрами атомов. В результате этих процессов образуются либо заряженные частицы (ядра отдачи, протоны, нейтроны), либо γ -излучение, вызывающие ионизацию. По характеру взаимодействия со средой, зависящему от уровня энергии нейтронов, они условно разделены на 4 группы:

- 1) тепловые нейтроны 0,0-0,5 кэВ;
- 2) промежуточные нейтроны 0,5-200 кэВ;
- 3) быстрые нейтроны 200 КэВ — 20 МэВ;
- 4) релятивистские нейтроны свыше 20 МэВ.

Фотонное излучение — поток электромагнитных колебаний, которые распространяются в вакууме с постоянной скоростью 300000 км/с. К нему относятся γ -излучение, характеристическое, тормозное и рентгеновское излучение.

Обладая одной и той же природой, эти виды электромагнитных излучений различаются условиями образования, а также свойствами: длиной волны и энергией.

Так γ -излучение испускается при ядерных превращениях или при аннигиляции частиц.

Характеристическое излучение — фотонное излучение с дискретным спектром, испускаемое при изменении энергетического состояния атома, обусловленного перестройкой внутренних электронных оболочек.

Тормозное излучение — связано с изменением кинетической энергии заряженных частиц, имеет непрерывный спектр и возникает в среде, окружающей источник β -излучения, в рентгеновских трубках, в ускорителях электронов и т.п.

Рентгеновское излучение — совокупность тормозного и характеристического излучений, диапазон энергии фотонов которых составляет 1 кэВ - 1 МэВ.

Излучения характеризуются по их ионизирующей и проникающей способности.

Ионизирующая способность излучения определяется удельной ионизацией, т. е. числом пар ионов, создаваемых частицей в единице объема массы среды или на единице длины пути. Излучения различных видов обладают различной ионизирующей способностью.

Проникающая способность излучений определяется величиной пробега. Пробегом называется путь, пройденный частицей в веществе до ее полной остановки, обусловленной тем или иным видом взаимодействия.

α -частицы обладают наибольшей ионизирующей способностью и наименьшей проникающей способностью. Их удельная ионизация изменяется от 25 до 60 тыс. пар ионов на 1 см пути в воздухе. Длина пробега этих частиц в воздухе составляет несколько сантиметров, а в мягкой биологической ткани — несколько десятков микрон.

β -излучение имеет существенно меньшую ионизирующую способность и большую проникающую способность. Средняя величина удельной ионизации в воздухе составляет около 100 пар ионов на 1 см пути, а максимальный пробег достигает нескольких метров при больших энергиях.

Наименьшей ионизирующей способностью и наибольшей проникающей способностью обладают фотонные излучения.

Во всех процессах взаимодействия электромагнитного излучения со средой часть энергии преобразуется в кинетическую энергию вторичных электронов, которые, проходя через вещество, производят ионизацию. Прохождение фотонного излучения через вещество вообще не может быть охарактеризовано понятием пробега. Ослабление потока электромагнитного излучения в веществе подчиняется экспоненциальному закону охарактеризуется коэффициентом ослабления μ , который зависит от энергии излучения и свойств вещества. Особенность экспоненциальных кривых состоит в том, что они не пересекаются с осью абсцисс. Это значит, что какой бы ни была толщина слоя вещества, нельзя полностью поглотить поток фотонного излучения, а можно только ослабить его интенсивность в любое число раз.

В этом существенное отличие характера ослабления фотонного излучения от ослабления заряженных частиц, для которых существует минимальная толщина слоя вещества-поглотителя (пробег), где происходит полное поглощение потока заряженных частиц.

Открытие ионизирующего излучения связано с именем французского ученого А. Беккереля. В 1896 г. он обнаружил следы каких-то излучений, оставленных минералом, содержащим уран, на фотографических пластинках. В 1898 г. Мария Кюри и ее муж Пьер Кюри установили, что после излучений уран самопроизвольно последовательно превращается в другие элементы (рис. 41). Этот процесс превращения одних элементов в другие, сопровождающийся ионизирующим излучением, Мария Кюри назвала радиоактивностью. Так была открыта естественная радиоактивность, которой обладают элементы с нестабильными ядрами; В 1934 г. И. и Ф.

Жолио-Кюри показали, что, воздействуя нейтронами на ядра стабильных элементов, можно получить изотопы с искусственной радиоактивностью.

Таким образом, различают природные и технические источники ионизирующего излучения. К природным относятся космические, а также земные источники, создающие природное облучение (естественный фон). К техническим относятся источники, специально созданные для полезного применения излучения или являющиеся побочным продуктом деятельности.

5.1. Физика радиоактивности

Природа излучений хорошо изучена. Чтобы понять, как возникают излучения, необходимо вспомнить некоторые сведения из атомной физики.

Согласно планетарной модели атома, предложенной в 1911 г. английским физиком Э. Резерфордом, ядро атома состоит из положительных протонов и нейтральных нейтронов. Вокруг ядра вращаются по своим орбитам отрицательно заряженные электроны. Заряд ядра равен суммарному заряду электронов, т.е. атом электрически нейтрален.

Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одинаковое число протонов, но количество нейтронов в них может быть разным.

Атомы, имеющие ядра с одинаковым числом протонов, но различающиеся по числу нейтронов, относятся к разновидностям одного и того же химического элемента и называются изотопами. Чтобы отличать их друг от друга, к символу элемента приписывают число, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа. Так, уран-238 содержит 92 протона и $238-92=146$ нейтронов; в уране-235 тоже 92 протона, но $235-92=143$ нейтрона. Протоны и нейтроны имеют общее название «нуклоны».

Полное число нуклонов называется массовым числом A и является мерой стабильности ядра. Чем ближе расположен элемент к концу таблицы Менделеева, тем больше A , тем больше нейтронов в ядре и тем менее устойчивы эти ядра.

Ядра всех изотопов образуют группу «нуклидов».

Некоторые нуклиды стабильны, т.е. при отсутствии внешнего воздействия не претерпевают никаких превращений. Большинство же нуклидов нестабильны, они все время превращаются в другие нуклиды. Электроны располагаются на орбитах в строгой последовательности, на ближайшей к ядру орбите может находиться не более 2 электронов, на следующей не более 8, на третьей — 18, далее — 32.

Эти условия постулировал в 1913 г. датский физик

Н. Бор. Затем они были подтверждены экспериментами. Энергия атома дискретна. Переход из одного состояния в другое происходит скачкообразно с излучением или поглощением строго фиксированной порции энергии — кванта. Этот термин ввел основоположник квантовой теории М. Планк.

Электроны могут переходить с одной орбиты на другую и покидать атом. Сложные процессы, происходящие внутри атома, сопровождаются высвобождением энергии в виде излучения.

Если нестабильный нуклид оказывается перевозбужденным, он выбрасывает порцию чистой энергии, называемую гамма-излучением (гамма-квантом). Как и в случае рентгеновских лучей (во многом подобных гамма-излучению), при этом не происходит испускания каких-либо частиц.

Процесс самопроизвольного распада нуклида называется радиоактивным распадом, а сам такой нуклид — радионуклидом.

Уровень нестабильности радионуклидов неодинаков: одни распадаются очень быстро, другие — очень медленно.

Время, в течение которого распадается половина всех радионуклидов данного типа, называется периодом полураспада. Например, период полураспада урана-238 равен 4,47 млрд. лет, а протактиния-234 — всего чуть больше одной минуты.

5.2. Влияние ионизирующего излучения

Ионизирующее излучение — это электромагнитное излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы различных знаков.

Взаимодействие с веществом заряженных частиц, гамма-квантов и рентгеновских лучей. Корпускулярные частицы ядерного происхождения (α -частицы, β -частицы, нейтроны, протоны и т.д.), а также фотонное излучение (γ -кванты и рентгеновское и тормозное излучение) обладают значительной кинетической энергией. Взаимодействуя с веществом, они теряют эту энергию в основном в результате упругих взаимодействий с ядрами атомов или электронами (как это происходит при взаимодействии бильярдных шаров), отдавая им всю или часть своей энергии на возбуждение атомов (т.е. перевод электрона с более близкой на более удаленную от ядра орбиту), а также на ионизацию атомов или молекул среды (т.е. отрыв одного или более электронов от атомов).

Упругое взаимодействие характерно для нейтральных частиц (нейтронов) и фотонов, не имеющих заряда. При этом нейтрон, взаимодействуя с атомами, может в соответствии с законами классической механики передавать часть энергии, пропорциональную массам соударяющихся частиц. Если это тяжелый атом, то передается только часть энергии. Если это атом водорода, равный массе нейтрона, то передается вся энергия. При этом нейтрон замедляется до тепловых энергий порядка долей электронвольта и далее вступает в ядерные реакции. Ударяя в атом, нейтрон может передать ему такое количество энергии, которое достаточно, чтобы ядро «выскочило» из электронной оболочки. В этом случае образуется заряженная частица, обладающая значительной скоростью, которая способна осуществлять ионизацию среды.

Аналогично взаимодействие с веществом и фотона. Он самостоятельно не способен ионизировать среду, но выбивает электроны

из атома, которые и производят ионизацию среды. Нейтроны и фотонное излучение относятся к косвенно ионизирующим излучениям.

Заряженные частицы (α - и β -частицы), протоны и другие способны ионизировать среду за счет взаимодействия с электрическим полем атома и электрическим полем ядра. При этом заряженные частицы тормозятся и отклоняются от направления своего движения, испуская при этом тормозное излучение, одно из разновидностей фотонного излучения.

Заряженные частицы могут за счет неупругих взаимодействий передавать атомам среды количество энергии, недостаточное для ионизации. В этом случае образуются атомы в возбужденном состоянии, которые передают эту энергию другим атомам, либо испускают кванты характеристического излучения, либо, соударяясь с другими возбужденными атомами, могут получить энергию, достаточную для ионизации атомов.

Как правило, при взаимодействии излучений с веществами происходят все три вида последствий этого взаимодействия: упругое соударение, возбуждение и ионизация.

Таблица 39

Относительная доля энергии, теряемая электронами в результате различных процессов взаимодействия, %

Энергия, эВ	Упругое взаимодействие	Возбуждение атомов среды	Ионизация
10^3	8,7	54,8	36,5
10^4	4,1	63,4	32,4
10^5	1,8	68,0	30,2

Процесс ионизации является наиболее важным эффектом, на котором построены почти все методы дозиметрии ядерных излучений, особенно косвенно ионизирующих излучений.

В процессе ионизации образуются две заряженные частицы: положительный ион (или атом, потерявший электрон с внешней оболочки) и свободный электрон. При каждом акте взаимодействия могут быть оторваны один или несколько электронов.

Истинная работа ионизации атома составляет 10...17 эВ, т.е. столько энергии требуется для отрыва электрона от атома. Экспериментально установлено, что энергия, передаваемая на образование одной пары ионов в воздухе, в среднем 35 эВ для α -частиц и 34 эВ для электронов, а для вещества биологической ткани примерно 33 эВ. Разница определяется следующим. Среднюю энергию, идущую на образование одной пары ионов, определяют экспериментально как отношение энергии первичной частицы к среднему числу пар ионов, образованной одной частицей на всем ее пути. Так как заряженные

частицы тратят свою энергию на процессы возбуждения и ионизации, то в экспериментальную величину энергии ионизации входят все виды энергетических потерь, отнесенные к образованию одной пары ионов. Экспериментальным подтверждением сказанному является табл. 3.14.

Дозы излучения. Когда ионизирующее излучение проходит через вещество, то на него оказывает воздействие только та часть энергии излучения, которая передается веществу, поглощается им. Порция энергии, переданная излучением веществу, называется дозой.

Количественной характеристикой взаимодействия ионизирующего излучения с веществом является поглощенная доза. Поглощенная доза D (Дж/кг) — это отношение средней энергии \overline{de} , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к единице массы dm вещества в этом объеме

$$D = \frac{\overline{de}}{dm}.$$

В системе СИ в качестве единицы поглощенной дозы принят грей (Гр), названной в честь английского физика и радиобиолога Л. Грея. 1 Гр соответствует поглощению в среднем 1 Дж энергии ионизирующего излучения в массе вещества, равной 1 кг. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Доза эквивалентная H — поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения, W_R

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$$

где $D_{T,R}$ — средняя поглощенная доза в органе или ткани T , W_R — взвешивающий коэффициент для излучения R . Если поле излучения состоит из нескольких излучений с различными величинами W_R , то эквивалентная доза определяется в виде:

$$H_m = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

Единицей измерения эквивалентной дозы является $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$, имеющий специальное название зиверт (Зв).

Доза эффективная E — величина, используемая как мера возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органе H_{τ_T} на соответствующий коэффициент для данного органа или ткани:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_{\tau_T}$$

где H_{τ_T} — эквивалентная доза в ткани Т за время τ , а W_T — взвешивающий коэффициент для ткани Т. Единица измерения эффективной дозы — Дж • кг⁻¹, которая имеет специальное название — зиверт (Зв).

Доза эффективная коллективная S — величина, определяющая полное воздействие излучения на группу людей, определяется в виде:

$$S = \sum E_i \cdot N_i$$

где E_i — средняя эффективная доза i -й подгруппы группы людей, N_i — число людей в подгруппе.

Единица измерения эффективной коллективной дозы — человекозиверт (чел-Зв).

Механизм биологического действия ионизирующих излучений. Биологическое действие радиации на живой организм начинается на клеточном уровне. Живой организм состоит из клеток. Клетка животного состоит из клеточной оболочки, окружающей студенистую массу — цитоплазму, в которой заключено более плотное ядро. Цитоплазма состоит из органических соединений белкового характера, образующих пространственную решетку, ячейки которой заполняют вода, растворенные в ней соли и относительно малые молекулы липидов — веществ, по свойствам подобным жирам. Ядро считается наиболее чувствительной жизненно важной частью клетки, а основными его структурными элементами являются хромосомы. В основе строения хромосом находится молекула диоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в которой заключена наследственная информация организма. Отдельные участки ДНК, ответственные за формирование определенного элементарного признака, называются генами или «кирпичиками наследственности». Гены расположены в хромосомах в строго определенном порядке и каждому организму соответствует определенный набор хромосом в каждой клетке. У человека каждая клетка содержит 23 пары хромосом. При делении клетки (митозе) хромосомы удваиваются и в определенном порядке располагаются в дочерних клетках.

Ионизирующее излучение вызывает поломку хромосом (хромосомные aberrации), за которыми происходит соединение разорванных концов в новые сочетания. Это и приводит к изменению генного аппарата и образованию дочерних клеток, неодинаковых с исходными. Если стойкие хромосомные aberrации происходят в половых клетках, то это ведет к мутациям, т.е. появлению у облученных особей потомства с другими признаками. Мутации полезны, если они приводят к повышению жизнестойкости организма, и вредны, если проявляются в виде различных врожденных пороков. Практика показывает, что при

действию ионизирующих излучений вероятность возникновения полезных мутаций мала.

Однако в любой клетке обнаружены непрерывно действующие процессы исправления химических повреждений в молекулах ДНК. Оказалось также, что ДНК достаточно устойчива по отношению к разрывам, вызываемым радиацией. Необходимо произвести семь разрушений структуры ДНК, чтобы она уже не могла восстановиться, т.е. только в этом случае происходит мутация. При меньшем числе разрывов ДНК восстанавливается в прежнем виде. Это указывает на высокую прочность генов по отношению к внешним воздействиям, в том числе и ионизирующим излучениям.

Разрушение жизненно важных для организма молекул возможно не только при прямом их разрушении ионизирующим излучением (теория мишени), но и при косвенном действии, когда сама молекула не поглощает непосредственно энергию излучения, а получает ее от другой молекулы (растворителя), которая первоначально поглотила эту энергию. В этом случае радиационный эффект обусловлен вторичным влиянием продуктов радиолиза (разложения) растворителя на молекулы ДНК. Этот механизм объясняется теорией радикалов. Повторяющиеся прямые попадания ионизирующих частиц в молекулу ДНК, особенно в ее чувствительные участки — гены, могут вызвать ее распад. Однако вероятность таких попаданий меньше, чем попаданий в молекулы воды, которая служит основным растворителем в клетке. Поэтому радиолиз воды, т.е. распад при действии радиации на водородный (H) и гидроксильный (OH) радикалы с последующим образованием молекулярного водорода и перекиси водорода, имеет первостепенное значение в радиобиологических процессах. Наличие в системе кислорода усиливает эти процессы. На основании теории радикалов главную роль в развитии биологических изменений играют ионы и радикалы, которые образуются в воде вдоль траектории движения ионизирующих частиц.

Высокая способность радикалов вступать в химические реакции обуславливает процессы их взаимодействия с биологически важными молекулами, находящимися в непосредственной близости от них. В таких реакциях разрушаются структуры биологических веществ, а это в свою очередь приводит к изменениям биологических процессов, включая процессы образования новых клеток.

Последствия облучения людей ионизирующим излучением. Когда мутация возникает в клетке, то она распространяется на все клетки нового организма, образовавшиеся путем деления. Помимо генетических эффектов, которые могут сказываться на последующих поколениях (врожденные уродства), наблюдаются и так называемые соматические (телесные) эффекты, которые опасны не только для самого данного

организма (соматическая мутация), но и его потомства. Соматическая мутация распространяется только на определенный круг клеток, образовавшихся путем обычного деления из первичной клетки, претерпевшей мутацию.

Соматические повреждения организма ионизирующим излучением являются результатом воздействия излучения на большой комплекс — коллективы клеток, образующих определенные ткани или органы, радиация тормозит или даже полностью останавливает процесс деления клеток, в котором собственно и проявляется их жизнь, а достаточно сильное излучение, в конце концов, убивает клетки. Разрушительное действие излучения особенно заметно проявляется в молодых тканях. Это обстоятельство используется, в частности, для защиты организма от злокачественных (например, раковых опухолей) новообразований, которые разрушаются под воздействием ионизирующих излучений значительно быстрее доброкачественных клеток. К соматическим эффектам относят локальное повреждение кожи (лучевой ожог), катаракту глаз (потемнение хрусталика), повреждение половых органов (кратковременная или постоянная стерилизация) и др.

В отличие от соматических, генетические эффекты действия радиации обнаружить трудно, так как они действуют на малое число клеток и имеют длительный скрытый период, измеряемый десятками лет после облучения. Такая опасность существует даже при очень слабом облучении, которое хотя и не разрушает клетки, но способно вызвать мутации хромосом и изменить наследственные свойства. Большинство подобных мутаций проявляется только в том случае, когда зародыш получает от обоих родителей хромосомы, поврежденные одинаковым образом. Результаты мутаций, в том числе и смертность от наследственных эффектов — так называемая генетическая смерть, наблюдались задолго до того, как люди начали строить ядерные реакторы и применять ядерное оружие. Мутации могут быть вызваны космическими лучами, а также естественным радиационным фоном Земли, на долю которого по оценкам специалистов приходится 1 % мутаций человека.

Установлено, что не существует минимального уровня радиации, ниже которого мутации не происходит. Общее количество мутаций, вызванных ионизирующим излучением, пропорционально численности населения и средней дозе облучения. Проявление генетических эффектов мало зависит от мощности дозы, а определяется суммарной накопленной дозой независимо от того, получена она за 1 сутки или 50 лет. Полагают, что генетические эффекты не имеют дозового порога. Генетические эффекты определяются только эффективной коллективной дозой

человеко-зверты (чел-Зв), а выявление эффекта у отдельного индивидуума практически не предсказуемо.

В отличие от генетических эффектов, которые вызываются малыми дозами радиации, соматические эффекты всегда начинаются с определенной пороговой дозы: при меньших дозах повреждения организма не происходит. Другое отличие соматических повреждений от генетических заключается в том, что организм способен со временем преодолевать последствия облучения, тогда как клеточные повреждения необратимы.

Таблица 40

Радиационное воздействие и соответствующие биологические эффекты

Доза, Зв	Мощность дозы или продолжительность	Воздействие	
		Облучение	Биологический эффект
0,003	В течение недели	О	Практически отсутствует
0,01	Ежедневно	О	Лейкемия
0,015	(в течение нескольких лет)	Л	Хромосомные нарушения в опухолевых клетках (культура соответствующих тканей)
0,25	Единовременно	Л	Практически отсутствует
0,5—1	В течение недели	Л	Удвоение мутагенных эффектов у одного поколения
2	Накопление малых доз	О	Тошнота
3—5	Единовременно	О	СД ₅₀ для людей
4	—	Л	Выпадение волос (обратимое)
4—5	—	О	Возможно излечение в стационарных условиях
6—9	0,1—0,5 Зв/сут	Л	Радиационная катаракта
10—25	3 Зв/сут или накопление малых доз	Л	Возникновение рака сильно радиочувствительных органов
25—60	2—3 Зв/сут	Л	Возникновение рака умеренно радиочувствительных органов
40—50	2—3 Зв/сут	Л	Дозовый предел для нервных тканей
50—60	2—3 Зв/сут	Л	Дозовый предел для желудочно-кишечного тракта

Примечание. О — общее облучение тела; Л — локальное облучение; СД₅₀ — доза, приводящая к 50 %-ной смертности среди лиц, подвергшихся облучению.

Нормирование воздействия ионизирующих излучений. К основным правовым нормативам в области радиационной безопасности относятся Нормы радиационной безопасности (НРБ—99).

Нормы радиационной безопасности включают в себя термины и определения, которые необходимо использовать в решении проблем

радиационной безопасности. Они также устанавливают три класса нормативов: основные дозовые пределы; допустимые уровни, являющиеся производными от дозовых пределов; пределы годового поступления, объемные допустимые среднегодовые поступления, удельные активности, допустимые уровни загрязнения рабочих поверхностей и т.д.; контрольные уровни.

Нормирование ионизирующих излучений определяется характером воздействия ионизирующей радиации на организм человека. При этом выделяются два вида эффектов, относящихся в медицинской практике к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог, лучевая катаракта, аномалии развития плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Обеспечение радиационной безопасности определяется следующими основными принципами:

1. Принципом нормирования — непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

2. Принципом обоснования — запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучения;

3. Принципом оптимизации — поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

В целях социально-экономической оценки воздействия ионизирующего излучения на людей для расчета вероятностей потерь и обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации НРБ—99 вводят, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел·Зв приводят к потере 1 чел·года жизни населения.

НРБ—99 впервые в отечественной практике нормирования вводят понятия индивидуальный и коллективный риск, а также определяют значение максимальной величины уровня пренебрегаемого риска воздействия облучения. Согласно этим нормам в области малых доз (менее 0,5 Зв) индивидуальный и коллективный риск возникновения стохастических (вероятностных) эффектов определяется соответственно:

$$r = p(E) \cdot r_E \cdot E;$$

$$R = P(SE) \cdot r_E \cdot S_E$$

где r , R — индивидуальный и коллективный риск соответственно; E , S_E — индивидуальная и коллективная эффективность дозы соответственно; $p(E)$, $p(S_E)$ — вероятность событий, создающих дозы E и S_E соответственно; r_E — коэффициент риска от смертельного риска, серьезных наследственных эффектов и не смертельного риска (приведенного по вреду и последствиям от смертельного риска).

Коэффициент риска равен:

$r_E^1 = 5,6 \cdot 10^{-1}$ 1/чел-Зв — для профессионального облучения;

$r_E = 7,3 \cdot 10^{-2}$ 1/чел-Зв для населения.

Для событий с тяжелыми последствиями от детерминированных (пороговых) эффектов в НРБ—96 консервативно принимается

$$r = p(E);$$

$$R = p(E) \cdot N,$$

где N — численность популяции, подвергающаяся радиационному воздействию в дозе $E > 0,5$ Зв.

Согласие НРБ—96 риск потенциального облучения оправдан при условии, когда

$$R < \frac{v - p - x}{\alpha};$$

$$r < \frac{v - p - x}{\alpha \cdot N},$$

где v — валовой (полный) доход; p — затраты на основное производство; x — затраты на защиту; α — цена риска — денежный эквивалент единицы риска.

НРБ—99 подчеркивают, что снижение риска до возможно низкого уровня (оптимизацию) следует осуществлять с учетом двух обстоятельств:

— предел риска регламентирует потенциальное облучение от всех возможных источников. Поэтому для каждого источника при оптимизации устанавливается граница риска;

— при снижении риска потенциального облучения существует минимальный уровень риска, ниже которого риск считается пренебрежимым и дальнейшее снижение риска нецелесообразно.

Предел индивидуального риска для техногенного облучения лиц из персонала принимается $1,0 \cdot 10^{-3}$ за 1 год, а для населения $5,0 \cdot 10^{-5}$ за 1 год.

Уровень пренебрежимого риска разделяет область оптимизации риска и область, безусловно, приемлемого риска и составляет 10^{-6} за 1 год.

НРБ—99 вводят следующие категории облучаемых лиц:

— персонал и лица, работающие с техногенными источниками (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);

— все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Таблица 41

Основные дозовые пределы

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	лица из персонала (группа А)	лица из населения
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике, коже, кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

ПРИМЕЧАНИЯ.* Дозы облучения, как и все остальные допустимые производные уровни персонала группы Б, не должны превышать 1/4 значений для персонала группы А.

** Относится к среднему значению в слое толщиной 5 мг/см² под покровным слоем толщиной 5 мг/см². На ладонях толщина покровного слоя — 40 мг/см².

Основные дозовые пределы облучаемых лиц из персонала и населения не включают в себя дозы от природных, медицинских источников ионизирующего излучения и дозу вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

НРБ—99 предусматривают, что при одновременном воздействии источников внешнего и внутреннего облучения должно выполняться условие, чтобы отношение дозы внешнего облучения к пределу дозы и отношение годовых поступлений нуклидов к их пределам в сумме не превышали 1.

Для женщин из персонала в возрасте до 45 лет эквивалентная доза в коже на поверхности нижней части живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм не должно превышать за год 1/20 предела годового поступления для персонала. При этом эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца не выявленной беременности не превышает 1 мЗв.

При установлении беременности женщин из персонала работодатели должны переводить их на другую работу, не связанную с излучением.

Для студентов в возрасте до 21 года, проходящих облучение с источниками ионизирующего излучения, годовые накопленные дозы не должны превышать значений, установленных для лиц из населения.

При проведении профилактических медицинских рентгенологических, а также научных исследований практически здоровых лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, годовая эффективная доза излучения не должна превышать 1 мЗв.

НРБ—99 устанавливают также требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии.

5.3. Биологическое действие ионизирующего излучения

Под воздействием ионизирующего излучения на организм человека в тканях могут происходить сложные физические и биологические процессы. В результате ионизации живой ткани происходит разрыв молекулярных связей и изменение химической структуры различных соединений, что в свою очередь приводит к гибели клеток.

Еще более существенную роль в формировании биологических последствий играют продукты радиолитического распада воды, которая составляет 60-70 % массы биологической ткани. Под действием ионизирующего излучения на воду образуются свободные радикалы H и OH, а в присутствии кислорода также свободный радикал гидропероксида (HO₂) и пероксида водорода (H₂O₂), являющиеся сильными окислителями. Продукты радиолитического распада вступают в химические реакции с молекулами тканей, образуя соединения, не свойственные здоровому организму. Это приводит к нарушению отдельных функций или систем, а также жизнедеятельности организма в целом.

Интенсивность химических реакций, индуцированных свободными радикалами, повышается, и в них вовлекаются многие сотни и тысячи молекул, не затронутых облучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты, то есть производимый излучением эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается. Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывают ионизирующие излучения.

Нарушения биологических процессов могут быть либо обратимыми, когда нормальная работа клеток облученной ткани полностью восстанавливается, либо необратимыми, ведущими к

поражению отдельных органов или всего организма и возникновению лучевой болезни.

Различают две формы лучевой болезни — острую и хроническую.

Острая форма возникает в результате облучения большими дозами в короткий промежуток времени. При дозах порядка тысяч. рад поражение организма, может быть мгновенным. («смерть под лучом»). Острая лучевая болезнь может возникнуть и при попадании внутрь организма больших количеств радионуклидов.

Хроническое поражение развивается в результате облучения дозами, превышающими предельно допустимые (ПДД).

Изменения в состоянии здоровья называются соматическими эффектами, если они проявляются непосредственно у облученного лица, и наследственными если они проявляются у его потомства.

Для решения вопросов радиационной безопасности в первую очередь представляют интерес эффекты, наблюдаемые при «малых дозах» — порядка нескольких сантитвертов в час и ниже, которые реально встречаются при практическом использовании атомной энергии. В нормах радиационной безопасности в качестве единицы времени, как правило, используется год, и как следствие этого, понятие годовой дозы излучения. Весьма важным здесь является то, что, согласно современным представлениям, выход неблагоприятных эффектов в диапазоне «малых доз», встречающихся в обычных, условиях, мало зависит от мощности дозы. Это означает, что эффект определяется, прежде всего суммарной накопленной дозой вне зависимости от того, получена она за 1 день, за 1 с или за 50 лет.

Таким образом, оценивая эффекты хронического облучения, следует иметь в виду, что эти эффекты накапливаются в организме в течение длительного времени.

Еще в 1899 г., был установлен факт подавления раковых клеток ионизирующим излучением. В дальнейшем полезное применение радиоактивных веществ в различных сферах деятельности стремительно развивалось.

В 1954 г. в Советском Союзе была выпущена первая в мире АЭС. К сожалению, исследования атома привели к созданию и применению в 1945 г. атомной бомбы в Хиросиме и Нагасаки. 26 апреля 1986 г. на ЧАЭС произошла тяжелейшая авария, которая привела к гибели и заболеванию людей, заражению значительной территории.

Исследователи излучений первыми столкнулись с их «опасными» свойствами. А. Беккерель получил ожог кожи. М. Кюри предположительно умерла от рака крови. По крайней мере 336 человек, работавших с радиоактивными материалами, умерли от переоблучения.

Отказаться от применения радиоактивных веществ в науке, медицине, технике, сельском хозяйстве невозможно по объективным причинам.

Остается один путь — обеспечить радиационную безопасность, то есть такое состояние среды обитания, при котором с определенной вероятностью исключается радиационное поражение человека.

5.4. Дозиметрические величины и единицы их измерения

Действия ионизирующего излучения на вещество проявляется в ионизации и возбуждении атомов и молекул, входящих в состав вещества. Количественный мерой этого воздействия служит поглощенная доза D_n — средняя энергия, переданная излучением единице массы вещества. Единица поглощенной дозы — грей (Гр), названа в честь физика Грея, $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. На практике применяется также внесистемная единица — рад $= 100 \text{ эрг/г} = 1 \times 10^{-2} \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр}$.

Поглощенная доза излучения зависит от свойств излучения и поглощающей среды.

Для заряженных частиц (α , β , протонов) небольших энергий, быстрых нейтронов и некоторых других излучений, когда основными процессами их взаимодействия с веществом являются непосредственная ионизация и возбуждение, поглощенная доза служит однозначной характеристикой ионизирующего излучения по его воздействию на среду. Это связано с тем, что между параметрами, характеризующими данные виды излучения. (поток, плотность потока и др.) и параметром, характеризующим ионизационную способность излучения в среде — поглощенной дозой, можно установить адекватные прямые зависимости.

Для рентгеновского и γ -излучений таких зависимостей не наблюдается, так как эти виды излучений косвенно ионизирующие. Следовательно, поглощенная доза не может служить характеристикой этих излучений по их воздействию на среду. До последнего времени в качестве характеристики рентгеновского и γ -излучений по эффекту ионизации используют так называемую экспозиционную дозу.

Экспозиционная доза выражает энергию фотонного излучения, преобразованную в кинетическую энергию вторичных электронов, производящих ионизацию в единице массы атмосферного воздуха.

За единицу экспозиционной дозы рентгеновского и γ -излучений принимают кулон на килограмм (Кл/кг). Это такая доза рентгеновского или γ -излучения, при воздействии которой на 1 кг сухого атмосферного воздуха при нормальных условиях образуются ионы, несущие 1 Кл электричества каждого знака.

На практике до сих пор широко используется внесистемная единица экспозиционной дозы — рентген. 1 рентген (Р) — экспозиционная доза рентгеновского и γ -излучений, при которой в 0,001293 г (1 см³ воздуха при нормальных условиях) образуются ионы, несущие заряд в одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака или $1 \text{ P} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Поскольку экспозиционную дозу продолжают использовать в практике радиационной безопасности, рассмотрим соотношение между рентгеном и поглощенной дозой. Заряд электрона равен $4,8 \times 10^{-10}$ эл. ед. заряда. Следовательно, при экспозиционной дозе в 1 Р будет образовано $2,09 \times 10^9$ пар ионов в 0,001293 г атмосферного воздуха. На образование одной пары ионов в воздухе расходуется в среднем 34 эВ энергии. Таким образом, при экспозиционной дозе в 1Р вторичными электронами расходуется 88 эрг в 1 г воздуха. Величины 88 эрг/г воздуха и $0,114 \text{ эрг/см}^3$ воздуха называют энергетическими эквивалентами рентгена. Поглощенная в каком-либо веществе доза рентгеновского и γ -излучения может быть рассчитана по экспозиционной дозе с помощью следующего соотношения:

$$D(\text{Гр}) = 8,8 \cdot 10^3 \cdot \mu \cdot \mu_{\text{В}} \cdot D(\text{Р})$$

где μ и $\mu_{\text{В}}$ — массовые коэффициенты ослабления (см²/г) для исследуемого вещества и воздуха соответственно.

Исследования биологических эффектов, вызываемых различными ионизирующими излучениями, показали, что повреждение тканей связано не только с количеством поглощенной энергии, но и с ее пространственным распределением, характеризуемым линейной плотностью ионизации. Чем выше линейная плотность ионизации, или, иначе, линейная передача энергии частиц в среде на единицу длины пути (ЛПЭ), тем больше степень биологического повреждения. Чтобы учесть этот эффект, введено понятие эквивалентной дозы $D_{\text{экв}}$, которая определяется равенством:

$$D_{\text{экв}} = D_{\text{п}} Q$$

где $D_{\text{п}}$ — поглощенная доза; Q — безразмерный коэффициент качества, характеризующий зависимость биологических неблагоприятных последствий облучения человека в малых дозах от полной ЛПЭ облучения.

Эквивалентная доза представляет собой меру биологического действия на данного конкретного человека, то есть она является индивидуальным критерием опасности, обусловленным ионизирующим излучением. Ниже приведены значения Q взвешивающих коэффициентов для некоторых видов излучения.

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы:

- Фотоны любых энергий	1
- Электроны и мюоны (менее 10 кэВ).....	1
- Нейтроны с энергией менее 10 кэВ.....	6
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
- Протоны, кроме протонов отдачи, энергия более 2 МэВ.....	5
— Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра.....	20

В качестве единицы измерения эквивалентной дозы принят зиверт (Зв), в честь шведского радиолога Рольфа Зиверта. $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} / Q = 1 \text{ Дж/кг}$. Зиверт равен эквивалентной дозе излучения, при которой поглощенная доза равна 1 Гр при коэффициенте качества, равном единице.

Применяется также специальная единица эквивалентной дозы: бэр (биологический эквивалент рада); $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$. Бэр — такое количество энергии, поглощенное 1 г биологической ткани, при котором наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощенной дозе излучения 1 рад рентгеновского и γ -излучения, имеющих $Q=1$. Коэффициент качества, определенным образом связанный с ЛПЭ, используется для сравнения биологического действия различных видов излучений только при решении задач радиационной защиты при эквивалентных дозах $D_{\text{экв}} < 0,25 \text{ Зв}$ (25 бэр). Д₃₇ — количественная характеристика поля ионизирующего излучения, основанная на величине ионизации сухого воздуха при атмосферном давлении.

Единицей измерения Д₃₇ является рентген (Р). $1 \text{ Р} = 2 \times 10^9$ пар ионов см^3 воздуха = $0,11 \text{ эрг/см}^3$ воздуха.

Следует учитывать, что чувствительность разных органов тела неодинакова. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака легких более вероятно, чем в щитовидной железе. Поэтому дозы облучения органов и тканей следует учитывать с разными взвешивающими коэффициентами (рекомендованы Международной комиссией по радиационной защите, см. табл. 34).

Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав по всем органам и тканям, получим эффективную эквивалентную дозу, отражающую суммарный эффект облучения для организма. Эта доза также измеряется в зивертах.

Поглощенная, экспозиционная и эквивалентная дозы, отнесены к единице времени, носят название мощности соответствующих доз.

Самопроизвольный (спонтанный) распад радиоактивных ядер следует закону:

$$N = N_0 \exp(-\lambda, t),$$

где N_0 — число ядер в данном объеме вещества в момент времени $t=0$; N — число ядер в том же объеме к моменту времени t ; λ — постоянная распада.

Постоянная λ имеет, смысл вероятности распада ядра за 1 с она равна доле ядер, распадающихся за 1 с.

Постоянная распада не зависит от общего числа ядер и имеет вполне определенное значение для каждого радиоактивного нуклида.

Приведенное выше уравнение показывает, что с течением времени число ядер радиоактивного вещества уменьшается по экспоненциальному закону.

В связи с тем, что период полураспада значительного числа радиоактивных изотопов измеряется часами и сутками (так называемые короткоживущие изотопы), его необходимо знать для оценки радиационной опасности во времени случае аварийного выброса в окружающую среду радиоактивного вещества, выбора метода дезактивации, а также при переработке радиоактивных отходов в последующем их захоронении. (Период полураспада нуклидов приведен в НРБ—99).

Первая характеристика из использовавшихся в практической дозиметрии — это экспозиционная доза Дэ.

Таблица 42

Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник (прямая, сигмовидная, нисходящая часть ободочной кишки)	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

Таблица 43

Наименование величины	Единицы намерения радиоактивного излучения				
	Определение величины	Единицы в системе СИ	Единицы внесистемные	Соотношение между единицами	Пояснение
Доза экспозиционная	Мера рентгеновского γ -излучения, ионизирующее воздействие на сухой воздух	Кулон на кг (Кл/кг)	Рентген (Р)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$	Энергетический эквивалент: $1 \text{ р} = 87,7 \text{ Дж/кг}$
Мощность экспозиционной дозы	Экспозиционная доза в единицу времени	Кл/кг*с	Р/ч	$1 \text{ Р/ч} = 7,17 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/кг} \cdot \text{с}$	
Доза поглощения	Энергия нейтронного и γ -излучения, переданная массе веществ	Грей(Гр)	Рад (рад)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$	Связь с экспозиционной дозой: 1 рад равен 1,14 р для воздуха и 1,05 р для биологической ткани
Мощность поглощенной дозы	Поглощенная доза в един. времени	Гр/с	рад/с	$1 \text{ рад/ч} = 2,77 \cdot 10^{-6} \text{ Гр/с}$	
Доза эквивалентная	Доза ооглощенная, умноженная на коэффициент вида излучения: $D_{\text{экв}} = D_{\text{полгл}} K_{\text{изл}}$	Зиверт (Зв)	Бэр — биологический эквивалент рада	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$	Коэффициент вида (качества) излучения отражает степень опасности облучения людей разными типами радиационных воздействий
Мощность эквивалентной дозы	Эквивалентная доза в единицу времени	Зв/с	бэр/с	$1 \text{ бэр/ч} = 2,78 \cdot 10^{-6} \text{ Зв/с}$	
Плотность потока частиц	Отношение числа частиц, пересекающих в единицу времени малую сферу, не внесшую искажения в поле излучения, к площади поперечного сечения этой сферы	$1/\text{с} \cdot \text{м}^2$	-	-	В зависимости от вида излучения может обозначаться: р-част./с м^1 , фотон/с м^* и т. п.

Описанные три дозы относятся к отдельному человеку, то есть являются индивидуальными.

Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, мы приходим к коллективной эффективной эквивалентной дозе, которая измеряется в человеко-зивертах (чел-Зв). Следует ввести еще одно определение. Многие радионуклиды распадаются очень медленно и останутся в отдаленном будущем. Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получают поколения людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его существования называют ожидаемой (полной) коллективной эффективной дозой. Активность препарата — это мера количества радиоактивного вещества.

Определяется активность числом распадающихся атомов в единицу времени, то есть скоростью распада ядер радионуклида.

Единицей измерения активности является одно ядерное превращение в секунду. В системе единиц СИ она получила название беккерель (Бк).

За внесистемную единицу активности принята кюри (Ки) — активность такого числа радионуклида, в котором происходит $3,7 \times 10^{10}$ актов распада в секунду. На практике широко пользуются производными Ки: милликюри — $1 \text{ мКи} = 1 \times 10^{-3} \text{ Ки}$; микрокюри — $1 \text{ мкКи} = 1 \times 10^{-6} \text{ Ки}$.

Таблица 44

Наименование величины	Определение величины	Единицы СИ	Единицы внесистемные	Соотношение между единицами	Пояснение
1	2	3	4	5	6
Активность (в источнике)	Мера количества радиоактивного вещества, выраженная числом радиоактивных превращений в секунду*	Беккерель (Бк)	Кюри (Ки)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$	Определяется числом ядерных распадов в секунду: $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$
Удельная, активность	Концентрация активности в массе радиоактивного вещества	Бк/кг	Ки/кг	$1 \text{ Ки/кг} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/кг}$	1 Ки/кг соответствует такой активности, которую создает 1 г радия
Объемная активность	Концентрация активности в объеме радиоактивного вещества	Бк/м ³	Ки/л	$1 \text{ Ки/л} = 3,7 \cdot 10^{13} \text{ Бк/м}^3$	Используется для оценки загрязнения воздуха и воды

1	2	3	4	5	6
Плотность загрязнения	Концентрация активности на поверхности территории	Бк/ м ²	Ки/км ²	1 Ки/км ² = 3,7•10 ¹⁴ Бк/м ²	Используется для оценки площадной загрязненности и местности

Под удельной активностью понимают активность, отнесенную к единице массы или объема, например Ки/г, Ки/л и т.д. Единицы измерения сведены в таблицах 35 и 36

5.5. Источники излучения

Различают естественные и созданные человеком источники излучения. Основную часть облучения население Земли получает от естественных источников. Естественные (природные) источники космического и земного происхождения создают естественный радиационный фон (ЕРФ). На территории России естественный фон создает, мощность экспозиционной дозы порядка 40-200 мбэр/год. Излучение, обусловленное рассеянными в биосфере искусственными радионуклидами, порождает искусственный радиационный фон (ИРФ), который в настоящее время в целом по земному шару добавляет к ЕРФ лишь 1-3 %.

Сочетание ЕРФ и ИРФ образует радиационный фон (РФ), который воздействует на все население земного шараяидоля относительно постоянный уровень.

Космические лучи представляют поток протонов и α -частиц, приходящих на Землю из мирового пространства.

К естественным источникам земного происхождения относится излучение радиоактивных веществ, содержащихся в породах, почве, строительных материалах, воздухе, воде.

По отношению к человеку источники облучения могут находиться вне организма и облучать его снаружи. В этом случае говорят о внешнем облучении.

Радиоактивные вещества могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище, в воде и попасть внутрь организма. Это будет внутреннее облучение.

Средняя эффективная эквивалентная доза, получаемая человеком от внешнего облучения за год от космических лучей, составляет 0,3 миллизиверта, от источников земного происхождения — 0,35 миллизиверта.

В среднем примерно $2/3$ эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников, радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой, воздухом.

Наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ радон (в 7,5 раза тяжелее воздуха). Радон и продукты его распада ответственны примерно за $3/4$ годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников, и примерно за половину этой дозы от всех источников радиации. В здания радон поступает с природным газом (3 кБк/сут), с водой (4), с наружным воздухом (10), из строительных материалов и грунта под зданием (60 кБкУсут).

За последние десятилетия человек создал более тысячи искусственных радионуклидов и научился примерять их в различных целях. Значения индивидуальных доз, получаемых людьми от искусственных источников, сильно различаются.

5.6. Измерение ионизирующего излучения

Необходимо помнить, что не существует универсальных методов и приборов, применимых для любых условий. Каждый метод и прибор имеют свою область применения. Неучет этих замечаний может привести к грубым ошибкам.

В радиационной безопасности используют радиометры, дозиметры и спектрометры.

Радиометры — это приборы, предназначенные для определения количества радиоактивных веществ (радионуклидов) или потока излучения. Например, газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера).

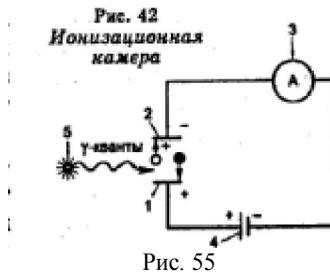
- Дозиметры — это приборы для измерения мощности экспозиционной или поглощенной дозы.

- Спектрометры служат для регистрации и анализа энергетического спектра и идентификация на этой основе излучающих радионуклидов.

Принцип действия любого прибора, предназначенного для регистрации проникающих излучений, состоит в измерении эффектов, возникающих в процессе взаимодействия излучения с веществом.

Наиболее распространенным является ионизационный метод регистрации, основанный на измерении непосредственного эффекта взаимодействия излучения с веществом, т.е. степени ионизации среды, через которую прошло излучение.

Для измерений применяют ионизационные камеры или/счетчики, служащие датчиком, в регистрирующие схемы; содержащие чувствительные элементы.



Ионизационная камера представляет собой конденсатор, состоящий из двух электродов 1 и 2, между которыми находится газ.

Электрическое поле между электродами создается от внешнего источника 4. При отсутствии радиоактивного источника 5 ионизации в камере не происходит и измерительный прибор тока показывает на нуль. Под действием ионизирующего излучения в газе камеры возникают положительные и отрицательные ионы. Под действием электрического поля отрицательные ионы движутся к положительно заряженному электроду, положительные к отрицательно заряженному электроду. В цепи возникает ток, который регистрируется измерительным прибором 3. Ионизационные камеры обычно работают в режиме тока насыщения, при котором каждый акт ионизации дает составляющую тока. По току насыщения определяются интенсивность излучения и количество данного радиоактивного вещества.

Сцинтилляционный метод регистрации излучений основан на измерении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминесцирующих веществах при прохождении через них, ионизирующих излучений. Для регистрации световых вспышек используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) с регистрирующей электронной схемой. Вещества, испускающие свет под воздействием ионизирующего излучения, называются сцинтилляторами (фосфорами, флуорами, люминофорами).

ФЭУ позволяет преобразовывать слабые вспышки от сцинтиллятора в достаточно большие электрические импульсы, которые можно зарегистрировать обычной несложной электронной аппаратурой.

Сцинтилляционные счетчики можно применить для измерения числа заряженных частиц, гамма-квантов, быстрых и медленных нейтронов; для измерения мощности дозы от бета-, гамма- и нейтронного излучений; для исследования спектров гамма- и нейтронного излучений.

Сцинтилляционный метод имеет ряд преимуществ перед другими методами, прежде; всего это высокая эффективность измерения проникающих излучений, малое время высвечивания сцинтилляторов, что позволяет производить измерения с короткоживущими изотопами.

С помощью фотографического метода были получены первые сведения об ионизирующих излучениях радиоактивных веществ. При воздействии излучения на фотографическую пленку или пластинку в результате ионизации в фотоэмульсии происходят фотохимические процессы, вследствие которых после проявления выделяется металлическое серебро в тех местах, где произошло поглощение излучения. Способность фотоэмульсии регистрировать излучение, преобразованное различными фильтрами, позволяет получить подробные сведения о количестве измеряемого излучения.

Химически обработанная пленка имеет прозрачные и почерневшие места, которые соответствуют незасвеченным и засвеченным участкам фотоэмульсии. Используя этот эффект для дозиметрии, можно установить связь между степенью почернения пленки и поглощенной дозой. В настоящее время этот метод используется лишь для индивидуального контроля дозы рентгеновского, гамма-, бета- и нейтронного излучений.

Описанные выше методы регистрации излучений весьма чувствительны и непригодны для измерения больших доз. Наиболее удобными для этих целей оказались различные химические системы, в которых под воздействием излучения происходят те или иные изменения, например: окрашивание растворов и твердых тел, осаждение коллоидов выделение газов из соединений. Для измерения больших доз применяют различные стекла, которые меняют свою окраску под воздействием излучения. Для измерения достаточно больших мощностей дозы применяют калориметрические методы, в основе которых лежит измерение количества тепла, выделенного в поглощающем веществе.

Калориметрические методы применяют для градуировки более простых методов определения поглощенных доз, а также для определения совместного и раздельного гамма- и нейтронного излучений в ядерных реакторах, ускорителях, где мощность поглощенной дозы составляет несколько десятков рад в час.

Большое распространение получили вошедшие в практику в последнее десятилетие полупроводниковые, а также фото- и термолюминесцентные детекторы ионизирующих излучений.

5.7. Нормирование радиационной безопасности

Вопросы радиационной безопасности регламентируется Федеральным законом «О радиационной безопасности населения», нормами радиационной безопасности (НРБ-99) и другими правилами и положениями. В законе «О радиационной безопасности населения» говорится: «Радиационная безопасность населения — состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения» (статья 1).

«Граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие на территории Российской Федерации, имеют право на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов, выполнения гражданами и организациями, осуществляющими деятельность с использованием источников ионизирующего излучения, требований к обеспечению радиационной безопасности» (статья 22).

Требования НРБ-99 являются обязательными для всех юридических лиц. Эти нормы являются основополагающим документом, регламентирующим требования закона РФ «О радиационной безопасности населения», и применяются во всех условиях воздействия на человека излучения искусственного или природного происхождения.

В НРБ-99 приводятся термины и определения. Так, в нормах сказано, что радиационный риск — это вероятность того, что облучение повлечет за собой какие-либо конкретные вредные последствия для человека.

Таблица 45

Основные дозовые пределы

Нормируемые величины	Долевые пределы	
	лица из персонала (группа А)	лица из населения
Эффективная доза	20 иЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 6 мЗв в год
Эквивалентная - доза за год в хрусталике,	150 мЗв	15 мЗв
Коже	500 мЗв	50 мЗв
Кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Нормы устанавливают следующие категории облучаемых лиц: персонал и все население. Персонал — лица, работающие с техническими источниками (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). Предел индивидуального риска для техногенного

облучения лиц из персонала принимается равным 1×10^{-3} за год, для населения $5,0 \times 10^{-5}$ за год. Уровень пренебрежимого риска принимается равным 10^{-6} за год. Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

□ основные дозовые пределы (табл. 26);

□ допустимые уровни монофакторного (для одного радионуклида или одного вида внешнего излучения, пути поступления) воздействия, являющиеся производными от основных дозовых пределов: пределы годового поступления, допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА) и удельные активности, (ДУА) и т.д.;

□ Контрольные уровни (дозы и уровни). Контрольные уровни устанавливаются администрацией учреждения по согласованию с органами Госсанэпиднадзора.

Их численные значения должны учитывать достигнутый в учреждении уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиация двойное воздействие будет ниже допустимого.

Основные дозовые пределы облучения лиц из персонала и населения не включают в себя дозы от природных, медицинских источников ионизирующего излучения и дозу вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

При подсчете вклада в общее (внешнее и внутреннее) облучение от поступления в организм радионуклидов берется сумма произведений поступлений каждого радионуклида за год на его дозовый коэффициент. Годовая эффективная доза облучения равна сумме эффективной дозы внешнего облучения, накопленной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же период. Интервал времени для определения величины ожидаемой эффективной дозы устанавливается равным 50 лет для лиц из персонала и 70 лет — для лиц из населения.

Для каждой категории облучаемых лиц допустимое годовое поступление радионуклида рассчитывается путем деления годового предела дозы на соответствующий дозовый коэффициент.

5.8. Защита от излучений

Дозу излучения (P) на рабочем месте можно рассчитать по формуле:

$$D = \frac{(\alpha K_a t)}{R^2}$$

где α — активность источника, мКи; K_γ — гамма - постоянная изотопа, которая берется из таблиц; t — время облучения, ч; R — расстояние, см.

Из этой формулы следует, что для защиты от γ -излучения существует три метода: защита временем, расстоянием и экранированием.

Защита временем состоит в том, чтобы ограничить время t пребывания в условиях облучения и не допустить превышения допустимой дозы.

Защита расстоянием основывается на следующих физических положениях. Излучение точечного или

локализованного источника распространяется во все стороны равномерно, т.е. является изотропным. Отсюда следует, что интенсивность излучения уменьшается с увеличением расстояния R от источника по закону обратных квадратов.

Принцип экранирования или поглощения основан на использовании процессов взаимодействия фотонов с веществом. Если заданы продолжительность работы, активность источника и расстояние до него, а мощность дозы P_0 на рабочем месте оператора оказывается выше допустимой P_d , нет другого пути, как понизить значение P_0 в необходимое число раз: $p = P_0/P_d$, поместив между источником излучения и оператором защиту из поглощающего вещества.

Защитные свойства материалов, оцениваются коэффициентом ослабления. Например, для половинного ослабления потоков фотонов с энергией 1 МэВ необходим слой свинца в 1,3 см или 13 см бетона. Это «эталонные» материалы.

Защитная способность других веществ больше или меньше во столько раз, во сколько раз отличаются их плотности от плотности свинца и бетона. Чем легче вещество, тем больше его требуется для защиты. Зная необходимую кратность ослабления p излучения, легко определить соответствующее ему число t слоев половинного ослабления, при котором мощность дозы P будет понижена до допустимой P_d :

$$p = 2^t; \lg p = 0,3t; t = \lg p / 0,3.$$

Безопасность работы с радиоактивными веществами и источниками излучений предполагает научно обоснованную организацию труда. Администрация предприятия обязана разработать детальные инструкции, в которых излагается порядок проведения работ, учета, хранения и выдачи источников излучения, сбора и удаления радиоактивных отходов, содержания помещений, меры личной профилактики, организация и порядок проведения радиационного (дозиметрического) контроля. Все работающие должны быть ознакомлены с этими инструкциями, обучены безопасным методам работы и обязаны сдать соответствующий техминимум. Все поступающие на работу должны проходить предварительный, а затем периодические медицинские осмотры. Следует

отметить, что организм не беззащитен в поле излучения. Существуют механизмы пострadiационного восстановления живых структур. Поэтому до определенных пределов облучение не вызывает вредных сдвигов в биологических тканях. Если допустимые пределы повышены, то необходима поддержка организма (усиленное питание, витамины, физическая культура, сауна и др). При сдвигах в кроветворении применяют переливание крови. При дозах, угрожающих жизни (600-1000 бэр) используют пересадку костного мозга. При внутреннем переоблучении для поглощения или связывания радионуклидов в соединения, препятствующие их отложению в органах человека, вводят сорбенты или комплексообразующие вещества.

К числу технических средств защиты от ионизирующих излучений относятся экраны различных конструкций. В качестве СИЗ применяют халаты, комбинезоны, пленочную одежду, перчатки, пневмокостюмы, респираторы, противогазы. Для защиты глаз применяются очки. Весь персонал должен иметь индивидуальные дозиметры.

Хранение, учет, транспортирование и захоронение радиоактивных веществ должно осуществляться в строгом соответствии с правилами.

Для защиты от вредных воздействий веществ применяют радиопротекторы.

Протекторы — это лекарственные препараты, повышающие устойчивость организма к воздействию вредных веществ или физических факторов. Наибольшее распространение получили радиопротекторы, т.е. лекарственные средства, повышающие защищенность организма от ионизирующих излучений или снижающие тяжесть клинического течения лучевой болезни.

Радиопротекторы действуют эффективно, если они введены в организм перед облучением и присутствуют в нем в момент облучения. Например, известно, что йод накапливается в щитовидной железе. Поэтому, если есть опасность попадания в организм радиоактивного йода I^{131} , то заблаговременно вводят йодистый калий или стабильный йод. Накапливаясь в щитовидной железе, эти нерадиоактивные разновидности йода препятствуют отложению в ней опасного в радиоактивном отношении I^{131} . Защитный эффект, оцениваемый так называемым фактором защиты (ФЗ), зависит от времени приема стабильного йода относительно начала попадания радиоактивного вещества (РВ) в организм. При приеме йода за 6 ч до контакта с РВ фактор защиты $ФЗ=100$ раз. Если время контакта с РВ и время приема йода совпадают, $ФЗ=90$ раз. Если йод вводится через 2 ч после начала контакта, то $ФЗ=10$ раз. Если йод вводится через 6 ч, $ФЗ=2$.

Для защиты от стронция Cs^{137} , проникающего в костную ткань, рекомендуется употреблять продукты, содержащие кальций (фасоль, греча, капуста, молоко).

Радиопротекторы, снижающие эффект облучения, изготовлены в виде специальных препаратов. - Например, препарат РС-1 является радиопротектором быстрого действия. Защитный эффект наступает через 40-60 мин и сохраняется в течение 4-6 ч. Препарат Б-190 — радиопротектор экстренного действия, радиозащитный эффект которого наступает через 5-15 мин и сохраняется в течение часа. Препарат РДД-77 — радиопротектор длительного действия, защитный эффект которого наступает через 2 суток и сохраняется 10-12 суток.

Существует много других радиопротекторов, имеющих различный механизм действия.

Защита от ионизирующих излучений представляет очень, серьезную проблему и требует объединения усилий ученых в специалистов не только в национальных рамках, но и в международном масштабе. В конце 20-х гг. была создана Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ), которая разрабатывает правила работы с радиоактивными веществами. В России имеется соответствующая национальная комиссия. Мировая общественность стала проявлять повышенную тревогу по поводу воздействия ионизирующих излучений на человека и окружающую среду с начала 50-х гг. Это было связано с последствиями бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, а также с испытаниями ядерного оружия, приведшими к распространению радиоактивного материала по всему земному шару.

Сведений о влиянии радиоактивных осадков на биологические объекты было еще недостаточно, и Генеральная Ассамблея ООН в 1955 г. основала Научный Комитет по действию атомной радиации (НКДАР) для оценки в мировом масштабе доз облучения, их эффекта и связанного с ними риска.

Среди опасностей, угрожающих человеку, немногие приковывают к себе столь постоянное внимание общественности и вызывают так много споров, как проблема радиации. Особенно много дискуссий и акций протеста возникает по поводу атомной энергетики. Состояние тревоги резко обострилось после аварии на ЧАЭС 26 апреля 1986 г.

ООН в 1957 г. учредила специальную организацию — Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), которая занимается проблемами международного сотрудничества в области мирового использования атомной энергии. Одно из основных направлений деятельности МАГАТЭ — проблема безопасности атомных станций. Эксперты МАГАТЭ проводят проверки и заключения об уровне

безопасности конкретных АЭС. В частности, МАГАТЭ разработало международную шкалу оценки опасности ядерных аварий.

5.9. Обеспечение безопасности при работе с ионизирующим излучением

Все работы с радионуклидами правила подразделяют на два вида: на работу с закрытыми источниками ионизирующих излучений и работу с открытыми радиоактивными источниками.

Закрытыми источниками ионизирующих излучений называются любые источники, устройство которых исключает попадание радиоактивных веществ в воздух рабочей зоны. Открытые источники ионизирующих излучений способны загрязнять воздух рабочей зоны. Поэтому отдельно разработаны требования к безопасной работе с закрытыми и открытыми источниками ионизирующих излучений на производстве.

Обеспечение радиационной безопасности требует комплекса многообразных защитных мероприятий, зависящих от конкретных условий работы с источниками ионизирующих излучений, а также от типа источника.

Главной опасностью закрытых источников ионизирующих излучений является внешнее облучение, определяемое видом излучения, активностью источника, плотностью потока излучения и создаваемой им дозой облучения и поглощенной дозой. Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении закрытых источников, основаны на знании законов распространения ионизирующих излучений и характера их взаимодействия с веществом. Главные из них следующие:

1. Доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения времени действия.
2. Интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в них в единицу времени, и обратно пропорционально квадрату расстояния.
3. Интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов.

Из этих закономерностей вытекают основные принципы обеспечения радиационной безопасности: уменьшение мощности источников до минимальных величин (защита количеством); сокращение времени работы с источниками (защита временем); увеличение расстояния от источника до работающих (защита расстоянием) и

экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующие излучения (защита экранами).

Защита количеством подразумевает проведение работы с минимальными количествами радиоактивных веществ, т.е. пропорционально сокращает мощность излучения. Однако требования технологического процесса часто не позволяют сократить количество радиоактивного вещества в источнике, что ограничивает на практике применение этого метода защиты.

Защита временем основана на сокращении времени работы с источником, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала. Этот принцип особенно часто применяется при непосредственной работе персонала с малыми активностями.

Защита расстоянием — достаточно простой и надежный способ защиты. Это связано со способностью излучения терять свою энергию во взаимодействиях с веществом: чем больше расстояние от источника, тем больше процессов взаимодействия излучения с атомами и молекулами, что в конечном итоге приводит к снижению дозы облучения персонала.

Защита экранами наиболее эффективный способ защиты от излучений. В зависимости от вида ионизирующих излучений для изготовления экранов применяют различные материалы, а их толщина определяется мощностью излучения. Лучшими экранами для защиты от рентгеновского и гамма-излучений являются материалы с большим Z , например свинец, позволяющий добиться нужного эффекта по кратности ослабления при наименьшей толщине экрана. Более дешевые экраны делают из просвинцованного стекла, железа, бетона, барритобетона, железобетона и воды.

По своему назначению защитные экраны условно разделяются на пять групп:

1. Защитные экраны-контейнеры, в которые помещаются радиоактивные препараты. Они широко используются при транспортировке радиоактивных веществ и источников излучений.

2. Защитные экраны для оборудования. В этом случае экранами полностью окружают все рабочее оборудование при положении радиоактивного препарата в рабочем положении или при включении высокого (или ускоряющего) напряжения на источнике ионизирующей радиации.

3. Передвижные защитные экраны. Этот тип защитных экранов применяется для защиты рабочего места на различных участках рабочей зоны.

4. Защитные экраны, монтируемые как части строительных конструкций (стены, перекрытия полов и потолков, специальные двери и т.д.). Такой вид защитных экранов предназначается для защиты

помещений, в которых постоянно находится персонал, и прилегающей территории.

5. Экраны индивидуальных средств защиты (щиток из оргстекла, смотровые стекла пневмокостюмов, просвинцованные перчатки и др.).

Защита от открытых источников ионизирующих излучений предусматривает как защиту от внешнего облучения, так и защиту персонала от внутреннего облучения, связанного с возможным проникновением радиоактивных веществ в организм через органы дыхания, пищеварения или через кожу. Все виды работ с открытыми источниками ионизирующих излучений разделены на 3 класса. Чем выше класс выполняемых работ, тем жестче гигиенические требования по защите персонала от внутреннего переоблучения.

Способы защиты персонала при этом следующие:

1. Использование принципов защиты, применяемых при работе с источниками излучения в закрытом виде.

2. Герметизация производственного оборудования с целью изоляции процессов, которые могут явиться источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду.

3. Мероприятия планировочного характера. Планировка помещений предполагает максимальную изоляцию работ с радиоактивными веществами от других помещений и участков, имеющих иное функциональное назначение. Помещения для работ I класса должны размещаться в отдельных зданиях или изолированной части здания, имеющей отдельный вход. Помещения для работ II класса должны размещаться изолированно от других помещений; работы III класса могут проводиться в отдельных специально выделенных комнатах.

4. Применение санитарно-гигиенических устройств и оборудования, использование специальных защитных материалов.

5. Использование средств индивидуальной защиты персонала. Все средства индивидуальной защиты, используемые для работы с открытыми источниками, разделяются на пять видов: спецодежда, спецобувь, средства защиты органов дыхания, изолирующие костюмы, дополнительные защитные приспособления.

6. Выполнение правил личной гигиены. Эти правила предусматривают личностные требования к работающим с источниками ионизирующих излучений: запрещение курения в рабочей зоне, тщательная очистка (дезактивация) кожных покровов после окончания работы, проведение дозиметрического контроля загрязнения спецодежды, спецобуви и кожных покровов. Все эти меры предполагают исключение возможности проникновения радиоактивных веществ внутрь организма.

Службы радиационной безопасности. Безопасность работы с источниками ионизирующих излучений на предприятиях контролируют

специализированные службы — службы радиационной безопасности комплектуются из лиц, прошедших специальную подготовку в средних, высших учебных заведениях или специализированных курсах Минатома РФ. Эти службы оснащены необходимыми приборами и оборудованием, позволяющими решать поставленные перед ними задачи.

Службы выполняют все виды контроля на основании действующих методик, которые постоянно совершенствуются по мере выпуска новых видов приборов радиационного контроля.

Важной системой профилактических мероприятий при работе с источниками ионизирующих излучений является проведение радиационного контроля.

Основные задачи, определяемые национальным законодательством по контролю радиационной обстановки в зависимости от характера проводимых работ, следующие:

— контроль мощности дозы рентгеновского и гамма-излучений, потоков бета-частиц, нейтронов, корпускулярных излучений на рабочих местах, смежных помещениях и на территории предприятия и наблюдаемой зоны;

— контроль за содержанием радиоактивных газов и аэрозолей в воздухе рабочих и других помещений предприятия;

— контроль индивидуального облучения в зависимости от характера работ: индивидуальный контроль внешнего облучения, контроль за содержанием радиоактивных веществ в организме или в отдельном критическом органе;

— контроль за величиной выброса радиоактивных веществ в атмосферу;

— контроль за содержанием радиоактивных веществ в сточных водах, сбрасываемых непосредственно в канализацию;

— контроль за сбором, удалением и обезвреживанием радиоактивных твердых и жидких отходов;

— контроль уровня загрязнения объектов внешней среды за пределами предприятия.

Тест

1. Во внесистемных единицах энергию частиц ионизирующего излучения измеряют:

- а) в герцах (Гр);
- б) в электрон – вольтах (эВ);
- в) в кулонах на килограмм (Кл/кг).

2. К корпускулярному ионизирующему излучению. Относятся:

- а) α -частицы, β -частицы, нейтроны, протоны;
- б) α -частицы, α -излучения, нейтроны, протоны;
- в) α -частицы, α и β -частицы, нейтроны, протоны.

3. α -излучения – это:

- а) поток электронов;
- б) поток позитронов и нейтронов;
- в) поток частиц, ядер атома гелия.

4. Единица измерения мощности экспозиционной дозы во внесистемных единицах является:

- а) рентген (Р);
- б) рентген/час (Р/ч);
- в) рад.

5. Единицей измерения мощности полученной СИ является:

- а) Грей в секунду (Гр/с); дозы в системе
- б) Зиверт в секунду (Зв/с);
- в) Рад в секунду (Рад/с).

6. Единицей измерения мощности эквивалентной дозы в системе СИ является:

- а) Зв/с;
- б) Рад/с;
- в) Гр/с.

7. Единицей измерения удельной активности вещества в системе СИ является:

- а) Беккерель на килограмм (Бк/кг);
- б) Беккерель на метр квадратный (Бк/М²);
- в) Беккерель (Бк).

8. Дозиметры это:

- а) приборы, предназначенные для определения количества радиоактивных веществ;
- б) приборы для измерения мощности экспозиционной или поглощенной дозы;
- в) для регистрации и анализа энергетического спектра излучающих радионуклидов.

Вопросы для повторения

1. Классификация ионизирующих излучений.
2. Природа ионизирующих излучений.
3. Биологическое действие ионизирующих излучений.
4. Дозиметрические величины и единицы их измерения.
5. Экспозиционная доза рентгеновского и γ излучения.
6. Поглощенная и эквивалентная доза.
7. Коллективная эффективная эквивалентная доза.
8. Источники ионизирующих излучений.
9. Методы измерения ионизирующих излучений.
10. Приборы для измерения ионизирующих излучений.
11. Нормирование радиационной безопасности.
12. Основные требования НРБ-99.
13. Категории облучаемых лиц.
14. Защита от ионизирующих излучений.
15. Технические средства защиты.
16. Медицинские средства защиты от ионизирующих излучений.

РАЗДЕЛ VI НЕИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

6.1. Лазерное излучение

Это излучение формируется в оптических квантовых генераторах (лазерах) и представляет собой оптическое когерентное излучение, характеризующееся высокой направленности и большой плотностью энергии. Главный элемент лазера, где формируется излучение, — активная среда, для образования которой используют: воздействие света нелазерных источников, электрический разряд в газах, химические реакции, бомбардировку электрическим пучком и другие методы «накачки». Активная среда (элемент), расположен между зеркалами, образующими оптический резонатор. Активной средой лазера может быть твердый материал (рубины, стекло, активированное неодимом, аллюмоиттриевый гранат, пластмассы), полупроводники (Zn, S, ZnO, CaSe, Te, PbS, GaAs, и др.), жидкость (с редкоземельными активаторами или органическими красителями), газ (He-Ne, Ar, Kr, Xe, Ne, He-Cd, CO₂ и др.) и др. Существуют лазеры непрерывного и импульсного действия.

Лазеры получили широкое применение в научных исследованиях (физика, химия, биология и др.), в практической медицине (хирургия, офтальмология и др.), а также в технике (связи, локации, измерительная техника, география), при исследовании внутренней структуры вещества, разделении протонов, термоядерном синтезе, термообработке, сварке, резке, при изготовлении отверстий малого диаметра - микроотверстий и др.

Величина генерируемого лазером электромагнитного излучения составляет: в области рентгеновского диапазона $3 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^{-7}$ мкм, ультрафиолетового 0,2...0,4 мкм, видимого света 0,4...0,75 мкм, ближнего инфракрасного 0,75...1,4 мкм, инфракрасного $1,4 \dots 10^2$ мкм, субмиллиметрового $10^2 \dots 10^3$ мкм.

Биологическое действие лазерного излучения зависит от энергии излучения E , энергии импульса $E_{\text{и}}$, плотности мощности (энергии) W_p (W_e), времени облучения t , длины волны λ длительности импульса τ частоты повторения импульсов f потока излучения Φ , поверхностной плотности излучения E_s , интенсивности излучения I .

Под воздействием лазерного излучения нарушается жизнедеятельность, как отдельных органов, так и организма в целом. В настоящее время установлено специфическое действие лазерных излучений на биологические объекты, отличающееся от действия других опасных производственных физических и химических факторов. При воздействии лазерного излучения на сплошную биологическую структуру

(например, на организм человека) различают три стадии: физическую, физико-химическую и химическую.



Рис. 56 Области применения лазеров в зависимости от требуемой мощности лазерного излучения

Таблица 46

Энергетические характеристики излучения

Характеризуемый объект	Показатель	Обозначение	Единица измерения
Пучок лазерного излучения	Энергия лазерного излучения	E	Дж
	Энергия импульса лазерного излучения	E _и	Дж
	Мощность лазерного излучения		Вт
	Плотность энергии (мощности) лазерного излучения	W _е , W _р	Дж/см ² (Вт/см ²)
Поле излучения	Поток излучения	Φ, F, P	Вт
	Поверхностная плотность потока излучения	E _э	Вт/м ²
	Интенсивность излучения	I, S	Вт/м ²
Источник излучения	Излучательная способность	R _э	Вт/м ²
	Энергетическая сила излучения	I _э	Вт/ср
	Энергетическая яркость	L _е	Вт/м ² ср
Приемник излучения	Облученность (энергетическая освещенность)	E _е	Вт/м ²
	Энергетическое количество освещения	H _е	Дж/м ²

На первой стадии (физической) происходят элементарные взаимодействия излучения с веществом, характер которых зависит от анатомических, оптико-физических и функциональных особенностей ткани, а также от энергетических и пространственных характеристик излучения и, прежде всего, от длины волны и интенсивности излучения. На этой стадии происходит нагревание вещества, преобразование энергии

электромагнитного излучения в механические колебания, ионизация атомов и молекул, возбуждение и переход электронов с валентных уровней в зону проводимости, рекомбинация возбужденных атомов и др.



Рис. 57. Факторы, определяющие биологические изменения при лазерном облучении

При воздействии непрерывного лазерного излучения преобладает в основном тепловой механизм действия, в результате которого происходит свертывание белка, а при больших мощностях — испарение биоткани. При импульсном режиме (с длительностью импульсов меньше 10^{-2} с) механизм взаимодействия становится более сплошным и приводит к преобразованию излучения в энергию механических колебаний среды, в частности ударной волны. При мощности излучения свыше 10^7 Вт и высокой степени фокусировки лазерного луча возможно возникновение ионизирующих излучений.

На второй стадии (физико-химической) из ионов и возбужденных молекул образуются свободные радикалы, обладающие высокой способностью к химическим реакциям.

На третьей стадии (химической) свободные радикалы реагируют с молекулами веществ, входящих в состав живой ткани, и при этом возникают те молекулярные повреждения, которые в дальнейшем определяют общую картину воздействия лазерного излучения на облучаемую ткань и организм в целом.

Лазерное излучение представляет опасность главным образом для тканей, которые непосредственно поглощают излучение, поэтому с

позиций потенциальной опасности воздействия и возможности защиты от лазерного излучения рассматривают в основном глаза и кожу.

Известна высокая чувствительность роговицы и хрусталика глаза при воздействии электромагнитных излучений. Способность оптической системы глаза на несколько порядков увеличивать плотности энергии видимого и ближнего инфракрасного диапазона на глазном дне по отношению к роговице, наиболее чувствительны к воздействию лазерного излучения.

Длительное действие лазерного излучения видимого диапазона на сетчатку глаза (не намного меньше порога ожога) может вызвать необратимые изменения в ней, а в диапазоне ближнего инфракрасного излучения может привести к помутнению хрусталика глаза. Клетки сетчатки, как и клетки центральной нервной системы, после повреждения не восстанавливаются.

Действие лазерного излучения на кожу в зависимости от первоначальной поглощенной энергии приводит к различным поражениям: от легкой эритемы (покраснения) до поверхностного обугливания и, в конечном итоге, образования глубоких дефектов кожи.

Предельно допустимыми уровнями (ПДУ) облучения приняты энергетические экспозиции. Для ПДУ непрерывного лазерного излучения выбирают энергетическую экспозицию наименьшей величины, не вызывающей первичных и вторичных биологических эффектов (с учетом длины волны и длительности воздействия). Для импульсно-периодического излучения ПДУ облучения рассчитывают с учетом частоты повторения и воздействия серии импульсов.

Помимо лазерного излучения, возникают также и другие виды опасностей, связанных с эксплуатацией лазеров. Это — вредные химические вещества, шум, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др. По степени опасности лазерного излучения лазеры подразделяются на следующие классы: 0 — безопасные (выходное излучение не представляет опасности для биологической ткани при остром и хроническом воздействии); I — малоопасные (воздействия прямого и зеркально отраженного излучения только на глаза); II — средней опасности (воздействия на глаза прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения, а также прямого и зеркально отраженного излучения на кожу); III — опасные (воздействия на глаза, кожу прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения; работа лазеров сопровождается возникновением других опасностей и вредных производственных факторов); IV — высокой опасности (опасности характерные для лазеров I—III классов, а также ионизирующее излучение с уровнем, превышающем установленные допустимые пределы).

Классификацию лазеров по степени опасности осуществляют на основе временных, энергетических и геометрических (точечный или протяженный источник) характеристик источника излучения и предельно допустимых уровней лазерного излучения.

Таблица 47

Контролируемые опасные и вредные производственные факторы

Опасные и вредные производственные факторы	Класс лазеров				
	0	I	II	III	IV
Повышенное электрическое напряжение	—(+)	+	+	+	+
Микроклимат	+	+	+	+	+
Прямое лазерное излучение	—	+	+	+	+
Зеркальное отраженное лазерное излучение	—	+	+	+	+
Диффузно отраженное лазерное излучение	—	—	—(+)	+	+
Излучение оптического диапазона спектра	—	—	+	+	+
Шум, вибрация	—	—	—(+)	+	+
Аэрозоли	—	—	—	+	+
Газы	—	—	—	+	+
Электромагнитное излучение (ВЧ, СВЧ)	—	—	—	—(+)	—(+)
Ионизирующее излучение	—	—	—	—	+

6.2. Защита при работе с лазерами

Работы с оптическими квантовыми генераторами (ОКГ) — лазерами — следует проводить в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений. Само помещение изнутри, оборудование и предметы, находящиеся в нем, не должны иметь зеркально отражающих поверхностей, если на них может падать прямой или отраженный луч лазера. Эти поверхности лучше окрашивать в матовые тона с коэффициентом отражения не более 0,4. Искусственное освещение в помещении должно быть комбинированным и обеспечивать освещенность, соответствующую санитарным нормам. В помещение или в зону помещения с действующими лазерными установками должен быть ограничен доступ лиц, не имеющих отношение к работе установок.

Лазерная установка должна быть максимально экранирована: а) лазерный луч целесообразно передавать к мишени по волноводу (световоду) или по огражденному экранному пространству; б) линзы, призмы и другие с твердой зеркальной поверхностью предметы на пути луча должны снабжаться блендами; в) в конце луча следует устанавливать диафрагмы, предупреждающие отражение от мишени в стороны на большие расстояния. Генератор и лампа накачки должны быть заключены в светонепроницаемую камеру. Лампы накачки должны иметь

блокировку, исключаящую возможность вспышки лампы при открытом положении ее экрана. Устройства для визуальной юстировки необходимо оборудовать постоянно вмонтированными защитными светофильтрами, поглощающими излучение, как на основной частоте, так и наиболее интенсивное излучение на высших гармониках. Для основного луча каждого ОКГ в помещении необходимо выбирать направление в зоны, в которых пребывание людей должно быть исключено.

При изготовлении экранирующих щитов, ширм, штор, занавесей следует применять непрозрачные теплостойкие материалы. При отсутствии опасности возникновения пожара от луча лазера ограждения могут быть сделаны из плотной ткани. Приведение ОКГ в рабочее положение полезно блокировать с установкой экранирующих устройств. Следует избегать работ с лазерными установками при затемнении помещения, поскольку при пониженной освещенности зрачок расширяется и увеличивается вероятность попадания лазерного излучения в глаз.

Производить или проверять юстировку лазерной установки необходимо только при отключенном питании возбуждающего устройства (батареи конденсаторов в твердотельных ОКГ и источников электрического тока в газовых ОКГ). Уменьшение уровней шумов, интенсивности излучения высокочастотных генераторов, рентгеновского излучения и концентрации вредных газов и паров необходимо осуществлять согласно соответствующим правилам.

В качестве индивидуальных средств защиты рекомендуются защитные очки из специального стекла. Очки целесообразно монтировать в маску или полумаску, защищающую лицо. Руки защищаются хлопчатобумажными перчатками. Для защиты остальных частей тела достаточна обычная одежда.

Таблица 48

Характеристика стекол, рекомендуемых для изготовления защитных очков (толщина 3 мм)

Диапазон длин волн излучения поглощаемого стеклом, нм	Цвет стекла	Марка стекла
200...350	Желтое	ЖС10, ЖС11
200...450	»	ЖС17, ЖС18
200...500	Оранжевое	Оранжевое ОС11
200...600	Красное	ОС 12
500...1200 и более	Сине-зеленое	КС 15, СЭС 22
2700...10600 и более	Бесцветное	БСЗ и др.

Для оценки опасности действия лазерного излучения в производственных условиях необходимо провести расчет лазерно опасной зоны.

Расчет границ лазерно опасной зоны. Достаточно надежным и простым методом определения границы лазерно опасной зоны может быть расчет плотности потока излучения (облученности) в различных точках пространства вокруг лазерных установок. При проведении такого расчета необходимо знать выходные характеристики лазерного излучения и коэффициент отражения (альbedo) излучения от мишени ρ . Наиболее важными характеристиками лазерного излучения, определяющими его воздействие на биологические объекты, являются: длина волны, диаметр и расходимость пучка, длительность и частота повторения импульсов, энергия (мощность) излучения. Как правило, эти параметры известны из паспортных данных лазерной установки с достаточной точностью.

При определении границ лазерно опасной зоны исходят из предположения, что воздействие на человека прямых и зеркально отраженных лучей исключено конструкцией установки. Расчет лазерно опасной зоны начинают с определения границ зоны R_1 , внутри которой источник излучения (отражающая поверхность) является для глаза протяженным. Отражающая поверхность будет протяженным источником в том случае, если она видна под углом большим или равным α_{\min} . Угол α_{\min} определяется из условия, когда поверхность с энергетической яркостью, равной ПДУ для диффузно отраженного излучения, создает на роговице глаза энергетическую освещенность, соответствующую ПДУ для коллимированного излучения, т.е.

$$\alpha_{\min} = \sqrt{\frac{4E'_e \cos \theta}{\pi L_e}}, \quad (6.1)$$

где θ — угол между направлением визирования и нормалью к поверхности.

Таблица 49

Предельный угол видения протяженного источника

Длительность экспозиции, с	α_{\min} , рад	Длительность экспозиции, с	α_{\min} , рад	Длительность экспозиции, с	α_{\min} , рад
10^{-9}	8,0	10^{-4}	2,2	10^1	24
10^{-8}	5,4	10^{-3}	3,6	10^2	24
10^{-7}	3,7	10^{-2}	5,7	10^3	24
10^{-6}	2,5	10^{-1}	9,2	10^4	24
10^{-5}	1,7	10^0	15		

Угол видения отражающей поверхности α вычисляется по формуле:

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{4S_q \cos^2 \theta}{\pi R^2}}, \quad (6.2)$$

где S_q — площадь пятна на отражающей поверхности; R — расстояние от поверхности до наблюдателя.

Подставив в формулу (4.2) выражение для α_{\min} определим значение R_1 :

$$R_1 = \sqrt{\frac{L'_e S_q \cos \theta}{E'_3}}, \quad (6.3)$$

где E'_3 — энергетическая освещенность на роговице глаза, равная ПДУ для коллимированного излучения; L'_e — энергетическая яркость поверхности, равная ПДУ для диффузионно отраженного излучения.

Граница лазерно опасной зоны определяется в каждом конкретном случае по следующей схеме:

1) рассчитывается угол видения отражающей поверхности по формуле (6.2);

2) полученное по формуле (6.2) значение угла α сравнивается с предельным углом видения протяженного источника α_{\min} , при этом могут возникнуть две ситуации:

а) угол видения отражающей поверхности меньше α_{\min} (точечный источник), в этом случае граница лазерно опасной зоны вычисляется по формуле:

$$R_{ep} = \sqrt{\frac{L_e S_q \cos \theta}{E'_3}}; \quad (6.4)$$

б) угол видения отражающей поверхности больше α_{\min} (протяженный источник). В этом случае повреждение органов зрения определяется энергетической яркостью отражающей поверхности L_e . Если энергетическая яркость диффузно отражающей поверхности меньше ПДУ, то источник является безопасным. Если энергетическая яркость равна ПДУ, то граница лазерно опасной зоны совпадает с границей зоны I, вычисляемой по формуле (6.3). И наконец, если энергетическая яркость превышает ПДУ, то граница лазерно опасной зоны вычисляется по формуле (6.4)

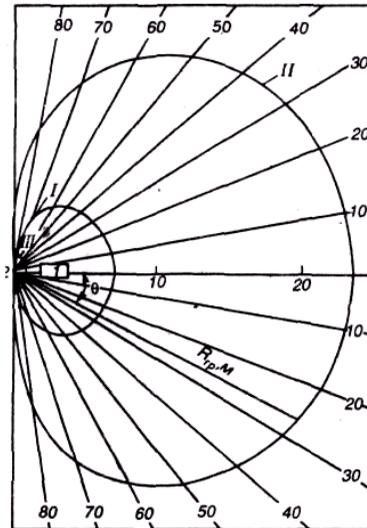


Рис. 58 Схема к расчету лазерно опасной зоны: I — граница зоны 1; II — граница лазерно опасной зоны; III — граница зоны, внутри которой излучение представляет опасность для кожи; 1 — лазер; 2 — мишень.

Лазерное излучение может представлять опасность и для кожи. В этом случае опасность лазерного излучения определяется величиной облученности покровов и не зависит от геометрических размеров источников излучения. Граница зоны, внутри которой необходимо использовать средства защиты кожи, вычисляется по формуле (6.4), в которую необходимо вместо ПДУ для глаз подставить значение ПДУ для кожи.

Расчет лазерно опасной зоны при длине волны излучения, находящейся вне интервала 0,4...1,4 мкм, проводится по формуле (6.4) независимо от геометрических размеров источника излучения.

Расчетный метод оценки границ лазерно опасной зоны является ориентировочным, так как он требует знаний энергетических характеристик лазерного излучения, коэффициента отражения излучения, закона отражения и не учитывает дополнительно отраженного от различных предметов (оптических элементов и т.п.) излучения. Более точным является экспериментальный метод, позволяющий по результатам измерений строить истинную картину поля излучения вокруг лазерных установок.

6.3. Ультрафиолетовое излучение (УФИ)

Это оптическое излучение с длинами волн, меньшими 400 нм. Для биологических целей различают следующие спектральные области: УФИ-С — от 200 до 280 нм; УФИ-В

от 280 до 315 нм; УФИ-А — от 315 до 400 нм. Исходя из специфической биологической эффективности, область УФИ-С также называют бактерицидной областью спектра; УФИ-В — эритемной и УФИ-А общеоздоровительной (последнее определение в меньшей степени, чем первые два отражают специфику биологического действия УФИ). В научно-технической литературе используются и другие синонимы названий указанных областей спектра, например, коротковолновое, длинноволновое УФИ и др.

Величины и единицы измерения УФИ. Эритемный поток (Фэр) — мощность эритемного излучения — эффективная величина, характеризующая УФИ по его полезному (в малых дозах) действию на человека и животных. Единица измерения — эр — эритемный поток, соответствующий потоку излучения с длиной волны 297 нм и мощностью 1 Вт. Эритемная освещенность (эритемная облученность) в точке поверхности (Еэр) — отношение эритемного потока, падающего на элемент поверхности, содержащий данную точку, к площади этого элемента. Единица измерения эр на квадратный метр (эр/м²) — эритемная освещенность поверхности площадью 1 м² при эритемном потоке падающего на него излучения 1 эр. Эритемная доза (эритемная экспозиция Нэр) — отношение эритемной энергии излучения, падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента. Единица измерения — эр*ч/м² — эритемная доза, получаемая поверхностью с площади 1 м², на которое падает излучение с эритемной энергией 1 эр·ч. Для удобства пользования предлагаем табл. 3.12 пересчета физических и биологически взвешенных единиц измерения дозы УФИ в области В. Единицы измерения бактерицидного потока, приведенного к длине волны 254 нм, — бк, бк/м² и бк·ч/м².

Таблица 50

Взаимосвязь физических и биологически взвешенных единиц измерения дозы УФИ в области В

Единицы измерения	мкВт·мин/см ²	мэр·ч/м ²	мкэр. мин/см ²	мэр.мин/м ²
мкВт·мин/см ²	1	0,0314	0,2	2
мэр.ч/м ²	30	1	6	60
мкэр·мин/см ²	5	0,157	1	10
мэр·мин/м ²	0,5	0,0157	0,1	1

Основные типы ультрафиолетовых измерительных приборов

Прибор	Назначение прибора
УФ-радиометр	Измерение УФ-освещенности в энергетических единицах
УФ-дозиметр	Измерение УФ-дозы в энергетических единицах
УФ-фотометр	Измерение эффективных величин, характеризующих УФ-излучение
Эр-метр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения эритемной освещенности
Эр-дозиметр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения эритемной дозы
Бакт-метр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения бактерицидной освещенности
Бакт-дозиметр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения бактерицидной дозы

Источники УФФИ можно разделить на две большие группы: естественные и искусственные. Главным естественным источником УФФИ является солнце. На интенсивность УФФИ на поверхности Земли оказывает влияние длина пути лучей, географическая широта, высота над уровнем моря и время года. Имеет также значение рассеивание и поглощение УФФИ пылью; туманом, различными Химическими веществами, находящимися в атмосфере и дождем. Практически наиболее короткая волна, достигающая поверхности Земли, находится на уровне 295 нм. Общий поток УФФИ в области А·В составляет 3...4 % от общей энергии солнечных лучей. Искусственные источники УФФИ можно классифицировать следующим образом: газоразрядные источники - ртутные лампы низкого давления, ртутные лампы высокого давления, металлические галогеновые высокого давления, водородные и дейтериевые лампы, дуговая сварка; флюоресцентные лампы; источники накаливания — углеродная дуга, оксиацетиленовое пламя.

В промышленности одним из источников УФФИ являются электрические дуги. Они могут применяться без арматуры (сварочные работы) или с арматурой в виде различных экранов с отверстиями (фотоцинкография, светокопировальные работы). Интенсивность и спектр УФФИ от электрической дуги зависит от диаметра электрода, силы тока, состава электрода, а также от вида обмазки (при сварочных работах).

Биологическое действие УФФИ связано как с одноразовым, так и с систематическим облучением поверхности кожи и глаз. Острые поражения глаз при УФФИ-облучении обычно проявляются в виде кератитов роговицы и катаракты хрусталика. Фотокератит имеет латентный период, длительность которого зависит от дозы облучения (от 30 мин до 24 ч), чаще, всего латентный период составляет 6...12 ч. Проявляется фотокератит в виде ощущений постороннего тела или песка в глазах, светобоязни, слезотечения. Нередко можно обнаружить эритему кожи лица и век. Обычно явление фотокератида заканчиваются через 48 ч. без каких-либо осложнений. Повторные воздействия УФФИ на глазные

среды могут приводить к развитию катаракты — заболеванию, сопровождающемуся частичной или полной потерей проводимости света зрачков

Механизм развития рака кожи связывают со способностью УФИ повреждать ДНК и ее репарирующую систему. Канцерогенное действие УФИ может заключаться в одном из трех основных элементов повреждения: увеличения частоты хромосомных aberrаций и степени мутации, увеличения степени трансформации нормальных клеток в раковые клетки, вероятность развития опухолей при УФИ-облучении зависит как от суммарной дозы УФИ, которая, как правило, должна быть в тысячи раз больше эритемной, так и спектра излучения, длительности экспозиции, интервалов между облучениями, индивидуальной чувствительности организма и др.

Согласно действующему гигиеническому нормированию УФИ установлено, что максимальная облученность не должна превышать $7,5 \text{ мэр-ч/м}^2$, а максимальная суточная доза — 60 мэр-ч/м^2 для диапазона УФИ с длиной волны больше 280 нм.

6.4. Средства защиты от ультрафиолетовых излучений

Снижение интенсивности облучения УФИ и защита от его воздействия достигается защитой «расстоянием», экранированием источников излучения; экранированием рабочих мест средствами индивидуальной защиты; специальной окраской помещений и рациональным размещением рабочих мест, Защита «расстоянием» — удаление обслуживающего персонала от источников УФИ. расстояния, на которых уровни УФИ не, представляют опасности для рабочих, определяются только экспериментально. В каждом конкретном случае в зависимости от условий работы, состава производственной атмосферы, вида источника излучения, отражающих свойств конструкций помещения и оборудования и т.д.

Наиболее рациональным методом защиты является экранирование (укрытие) источников излучений. В качестве материалов экрана могут применяться различные материалы и светофильтры, не пропускающие или снижающие интенсивность излучений.

Особое значение имеет защита окружающих от действия излучений. С этой целью рабочие места, на которых имеет место УФИ, ограждаются ширмами, щитками либо устраиваются кабины.

Стены и ширмы в цехах окрашивают в светлые тона с добавлением и краску оксида цинка. Кабины изготовляют высотой 1.8...2 м, причем их

стенки не должны доходить до пола на 25...30 см для улучшения проветривания кабин.

Для защиты от УФИ обязательно применяются индивидуальные средства защиты, которые состоят из спецодежды (куртка, брюки) рукавиц, фартука из специальных тканей, щитка со светофильтром, соответствующего определенной интенсивности излучения. Для защиты глаз, например при ручной электросварке, применяют светофильтры следующих типов: для электросварщиков при сварочном токе: 30...75 А—Э-1; 75...; 200 А—Э-2; 200...400 А—Э-3 и при токе 400 А—Э-4.

Для защиты кожи от УФИ применяются мази содержащие вещество, служащее светофильтрами для этих излучений (салол, 1 салицилово-метилловый эфир и пр.), а также спецодежда, изготавливаемая из льняных и хлопчатобумажных тканей с искростойкой пропиткой и из грубошерстных сукон. Для защиты рук от воздействия УФИ применяют рукавицы.

6.5. Инфракрасное излучение (ИКИ)

Это — тепловое излучение, представляющее собой невидимое электромагнитное излучение с длиной волны от 0,76 до 420 мкм и обладающее волновыми и световыми свойствами.

По длине волны инфракрасные лучи делятся на коротковолновую ИКИ - А (менее 1,4 мкм), средневолновую ИКИ-В (1,4...3 мкм), длинноволновую ИКИ-С (3 мкм — 1 мм) область. В производственных условиях гигиеническое значение имеет более узкий диапазон (р_д76г..70 мкм).

Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело. Степень инфракрасного излучения характеризуется следующими основными законами, используемыми для оценки гигиенического Нормирования.

Лучеиспускание обуславливается только состоянием излучающего тела и не зависит от окружающей среды (закон Кирхгофа). Лучеиспускательная способность любого тела пропорциональна его лучепоглощающей способности. Тело, поглощающее все падающие на него лучи (абсолютно черное тело), обладает максимальным излучением. На этом законе основано применение поглощающей защитной одежды, светофильтров, устройство приборов для измерения теплового излучения, а также окраска оборудования.

С повышением температуры излучающего тела интенсивность излучения E (Вт/м²) увеличивается пропорционально 4-й степени его Абсолютной температуры (закон Стефана—Больцмана):

$$E = \sigma T^4$$

где σ — постоянная Стефана—Больцмана, равная $5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт м² К⁻⁴; Т — абсолютная температура, К (Кельвин).

Таким образом, даже небольшое повышение температуры тела приводит к значительному росту отдачи теплоты излучением, Используя этот закон, можно определить величину теплообмена излучением в производственных условиях.

Количество тепловой энергии, передаваемое излучением, определяется по формуле:

$$E = C_1 C_2 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

где E — теплоотдача, (Вт), C₁ и C₂ — константы излучения с поверхностей; σ — постоянная Стефана—Больцмана; T₁ и T₂ — температуры поверхностей (К), между которыми происходит теплообмен излучением.

При расчете теплоотдачи излучением учитывают температуру стен и других поглощающих тепловую радиацию поверхностей (среднерadiационная температура).

Произведение абсолютной температуры излучающего тела на длину волны излучения) с максимальной энергией — величина постоянная С (закон Вина — закон смещения)

$$\lambda_{МАКС} T = C$$

где C=2880; Т — абсолютная температура, К; λ — длина волны, мкм. Таким образом, длина волны максимального излучения нагретого тела обратно пропорциональна его абсолютной температуре, т.е.

$$\lambda_{МАКС} = C / T$$

При температуре твердого тела 400..500 °С излучение происходит главным образом в области длинных волн. Интенсивность теплового излучения на рабочих местах может колебаться от 175 Вт/м² до 13 956 Вт/м² К горячим цехам относят цеха, в которых тепловыделение превышает 23 Дж/м².

В литейных цехах (нагрев и обработка деталей) интенсивность теплового излучения составляет 1392...3480 Вт/м².

В производственных помещениях с большим тепловыделением (горячие цеха) на долю инфракрасного излучения может приходиться до 2/3 выделяемой теплоты и только 1/3 на конвекционную теплоту.

Биологическое действие инфракрасного излучения. Лучистое тепло имеет ряд особенностей. Инфракрасное излучение помимо усиления теплового воздействия на организм работающего обладает и специфическим влиянием, зависящим от интенсивности энергии излучения отдельных участков его спектра. Существенное влияние на

теплообмен организма оказывают оптические свойства кожного покрова с его избирательной характеристикой коэффициентов отражения, поглощения и пропускания инфракрасной радиации.

Воздействие ИКИ на организм человека проявляется как общими, как и местными реакциями. Местная выражается сильнее при длинноволновом облучении, поэтому при одной и той же интенсивности облучения время переносимости в этом случае меньше, чем при коротковолновой радиации. За счет большой глубины проникновения в ткани тела коротковолновая область спектра ИКИ вызывает повышение температуры глубоколежащих тканей. Например, длительное облучение глаза может привести к помутнению хрусталика (профессиональная катаракта).

Под влиянием ИКИ в организме человека возникают биохимические сдвиги и изменения функционального состояния центральной нервной системы: образуются специфические биологически активные вещества типа гистамина, холина, повышается уровень фосфора и натрия в крови, усиливается секреторная функция желудка, поджелудочной и слюнной желез, в центральной нервной системе развиваются тормозные процессы, уменьшается нервно-мышечная возбудимость, понижается общий обмен веществ.

При инфракрасном облучении кожи повышается ее температура, изменяется тепловое ощущение. При интенсивном облучении возникают ощущения жжения, боль.

Таблица 52

Время переносимости (с) инфракрасной радиации в зависимости от ее интенсивности и длины волны

Интенсивность радиации, Вт/м ²	Длина волны, мкм	
	3,6	1,07
1400	159	305
2800	27,3	37,9
4200	12,9	21,2
5600	9,5	14,5

С увеличением периода облучения организм приспособляется, т.е. происходит адаптация, сохраняющаяся довольно длительное время.

6.6. Меры защиты от действия инфракрасного излучения

Основным путем оздоровления труда в горячих цехах, где ИКИ — основной компонент микроклимата, является изменение технологических процессов в направлении ограничения источников тепловыделений и

уменьшение времени, контакта работающих с ними, управление процессом увеличивает расстояние между рабочим, и источником тепла и излучения, что снижает интенсивность влияющей на человека радиации. Важное значение имеют теплоизоляция поверхности оборудования; устройство защитных экранов, покрытыми теплоизоляционными материалами, ограждающих рабочих от лучистого и конвекционного тепла, водяные и воздушные завесы; укрытие поверхности нагревательных печей полыми экранами с циркулирующей в них проточной водой снижает температуру воздуха на рабочем месте и полностью устраняет ИКИ.

По действующим санитарным нормам температура нагретых поверхностей оборудования и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45 °С.

Для снижения интенсивности излучений от наружных поверхностей применяется водное охлаждение. При этом температура наружной поверхности не превышает температуры отходящей воды (35...40 °С). Расход воды на охлаждение, кг/ч:

$$\sigma = \Phi / c\Delta t$$

где Φ — тепловой поток, Дж/с; c — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг °С); Δt — разность температур отводящей и поступающей воды, °С.



Рис. 59 Классификация средств промышленной теплозащиты

Наиболее распространенный и эффективный способ защиты от излучения — экранирование источников излучений. Экраны применяют как для экранирования источников излучения, так и для защиты рабочих мест от инфракрасного излучения.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие, теплопроводящие. Это деление условно, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать или отводить тепло. Принадлежность экрана к той или иной группе зависит от того, какое свойство отражено в нем наиболее сильно. К В зависимости от возможности наблюдения за рабочим процессом экраны можно разделить на три типа: I — непрозрачные, II — полупрозрачные и III — прозрачные.

Кратность ослабления светового потока защитным экраном

$$M = q_{1,2}/q_{32} = \varepsilon_{1,2}/\varepsilon_{32} + \varepsilon_{1,2}/\varepsilon_{32}$$

где $q_{1,2}$ — плотность теплового потока между параллельными плоскостями 1 и 2, ε — степень черноты материала.

$$q_{1,2} = C_0 \varepsilon_{1,2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$q_{1,2}$ — плотность теплового потока между экраном и плоскостью 2; C_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела (5,67 Вт/(м²*К⁴));

$$q_{32} = \frac{C_0}{1/\varepsilon_{31} + 1/\varepsilon_{32}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Кратность снижения температуры излучающей поверхности

$$\mu = T_1 / T_2 = \sqrt{\frac{m}{1 + (T_2 / T_1)^4 + (T_2 / T_1)^4}}$$

Коэффициент пропускания теплового потока

$$\tau = 1/m$$

Коэффициент эффективности экрана

$$\eta = 1 - \tau = (m-1)/m$$

Таблица 53

Степень черноты ε полного излучения различных материалов

Материал	t, °C	ε
1	2	3
Алюминий полированный	225...575	0,039...0,057
окисленный при температуре 600 °C	200...600	0,11...0,19

1	2	3
Сталь		
листовая шлифовальная	940...1100	0,52...0,61
окисленная шероховатая	40...370	0,94...0,97
оцинкованная блестящая	28	0,228
оцинкованная окисленная	24	0,276
луженая блестящая	25	0,043...0,064
Чугун		
шероховатый сильноокисленный	40...250	0,95
расплавленный	1300...1400	0,29
Золото		
полированное	225...621	0,018...0,035
Медь полированная	115	0,023
Асбестовый картон	24	0,96
динасовый шероховатый	1000	0,8
шамотный глазурованный	1100	0,75
магнезитовый	1500	0,39
силиманитовый	1500	0,29
красный шероховатый	20	0,93

При $t_1 > 400$ °С можно допустить

$$\mu = \sqrt[4]{m}$$

При равенстве степеней черноты всех участвующих в теплообмене поверхностей $m=2$.

В случае установки n экранов и при разных степенях черноты ϵ источника излучения и экрана

$$m = \frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{\partial 1}} (n + 1)$$

Если $\epsilon_{1,2} = \epsilon_{\partial 1}$, то $m = n + 1$

При заданной температуре экрана

$$T_{\partial} = T_1 / \mu$$

требуемое число экранов

$$n = \frac{1 - (T_2 / T_1)^4}{1 / \mu^4 - (T_2 / T_1)^4} * \frac{\epsilon_{\partial 2}}{\epsilon_{1,2}} - 1$$

Экран, отражая часть теплового потока обратно на источник излучения, повышает температуру последнего. Это повышение описывается эмпирической формулой

$$t_1 = 2.1t_2^{0.65}$$

где t_2 — температура неэкранированной поверхности.

Полупрозрачные экраны. К полупрозрачным экранам относятся металлические сетки с размером ячейки 3...3,5 мм, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло. Сетки применяют при интенсивности облучения $0,35...1,05 \text{ кВт/м}^2$, и их коэффициент эффективности порядка 0,67. Цепные завесы применяются при интенсивности облучения $0,7...4,9 \text{ кВт/м}^2$. Коэффициент эффективности цепных завес зависит от толщины цепей. С целью повышения эффективности защитных свойств применяют завесы водяной пленкой и устраивают двойные экраны. Армированное стекло применяют при тех же интенсивностях облучения, что и цепные завесы, и имеют такой же коэффициент эффективности. Увеличение эффективности достигается орошением водяной пленки и устройством двойного экрана.

Прозрачные экраны. Для прозрачных экранов используют силикатное, кварцевое или органическое стекло, тонкие (до 2 нм) металлические пленки на стекле, воду в слое или дисперсном состоянии.

Коэффициент пропускания воды в различных участках спектра в значительной степени зависит от толщины слоя воды. Тонкие водяные стенки начинают заметно поглощать излучение с длиной волны более 1,9, мкм и значительно поглощают волны длиной более 3,2 мкм.

По этому они для экранирования источников с температурой до 800 °С. При толщине слоя воды 15...20 мм полностью поглощаются излучения с длиной волны более 1 мкм, поэтому такой слой воды эффективно защищает от теплового излучения источников с температурой до 1800 °С. Экраны в виде водяной пленки, стекающей по стеклу, более устойчивы по сравнению со свободными завесами: они имеют более высокий коэффициент эффективности (порядка 0.9) и могут применяться при интенсивностях облучения 1750 Вт/м^2

Теплопоглощающие прозрачные экраны изготавливают из различных стекол (силикатных, кварцевых, органических), бесцветных или окрашенных. Для повышения эффективности применяется двойное остекление вентилируемой воздушной прослойкой.

Органическое стекло применяют для защиты лица от теплового облучения в виде налобовых щитков. Эффективность стекол зависит от спектра излучения, т.е. стекло обладает узкополосными свойствами.

В последнее время одним из методов предупреждения влияния лучистой энергии является охлаждение стен, пола и потолка и применение специальных экранов на рабочих местах.

Кроме мер, направленных на уменьшение интенсивности теплового излучения на рабочих местах, предусматривают также условия, при которых обеспечивается отдача тепла человека непосредственно на месте работы. Это осуществляется путем создания оазисов и душирования с, помощью которых непосредственно на рабочее место направляется

воздушный поток определенной температуры и скорости в зависимости от категории работы, сезона года и интенсивности инфракрасной радиации согласно ГОСТ 12.1.005—98.

Тест

1. По длине волны инфракрасные волны делятся:
 - а) коротковолновую, средневолновую, длинноволновую области;
 - б) микроволновую, коротковолновую, длинноволновую области;
 - в) коротковолновую, ультракоротковолновую, микроволновую области.

2. С повышением температуры излучающего тела интенсивность излучения увеличивается пропорционально:
 - а) 3-й степени его абсолютной температуры;
 - б) 4-й степени его абсолютной температуры;
 - в) 5-й степени его абсолютной температуры.

3. Длина волны максимального излучения нагретого тела:
 - а) прямо пропорционально его абсолютной температуре;
 - б) обратно пропорционально абсолютной температуре;
 - в) не зависит от абсолютной температуры нагретого тела.

4. Экраны применяют для экранирования ИКИ:
 - а) источников излучения;
 - б) источников излучения и рабочих мест;
 - в) рабочих мест.

5. По принципу действия экраны подразделяются:
 - а) на теплоотражающие, теплопоглощающие;
 - б) на теплопоглощающие и теплопроводящие;
 - в) на теплопоглощающие, теплопроводящие и теплоотражающие.

6. По биологической эффективности ультрафиолетовые излучения делятся:
 - а) бактерицидное, общеоздоровительное;
 - б) бактерицидное, общеоздоровительное, эритемное;
 - в) эритемное, общеоздоровительное.

7. По степени опасности лазерного излучения лазеры подразделяются на:

- а) 5 классов;
- б) 4 классов;
- в) 3 классов.

8. По мощности излучения лазеры классифицируются:

- а) сверхмощные, мощные, маломощные;
- б) сверхмощные, мощные, средней мощности, маломощные;
- в) мощные, средней мощности, маломощные.

Вопросы для повторения

1. Основные характеристики лазерного излучения.
2. Классификация лазеров.
3. Воздействие лазерного излучения на организм человека.
4. Основные и вредные факторы, возникающие при эксплуатации лазеров.
5. Средства защиты от лазерных излучений.
6. Классификация и единицы измерения УФИ.
7. Источники УФИ.
8. Биологическое воздействие на организм человека.
9. Средства защиты от УФИ.
10. Приборы для измерения УФИ.
11. Нормирование УФИ,
12. Характеристики инфракрасного излучения.
13. Источники инфракрасного излучения.
14. Биологическое действие инфракрасного излучения на организм человека.
15. Средства и методы защиты от инфракрасного излучения.
16. Приборы для измерения инфракрасного излучения.
17. Нормирование инфракрасного излучения.

Вопросы к экзамену

1. Классификация химических опасностей.
2. Классы опасности вредных веществ.
3. Отравление вредными веществами.
4. Специфическое действие вредных веществ.
5. Комбинированное действие вредных веществ.
6. Гигиеническое нормирование вредных веществ.
7. Этапы нормирования вредных веществ.
8. Принципы нормирования вредных веществ.
9. Промышленные яды, и их характеристика.
10. Токсическая классификация вредных веществ.
11. Основные характеристики шума.
12. Источники шума.
13. Влияние шума на организм человека.
14. Санитарно-гигиеническое нормирование шума.
15. Классификация шумов по временным характеристикам.
16. Спектр шума. Основные полосы частот.
17. Определение параметров шума на рабочих местах.
18. Методы и приборы измерения шума.
19. Определение шумовых характеристик машин.
20. Средства и методы защиты от шума.
21. Основные понятия и определения применяемые в светотехнике.
22. Факторы световой среды и освещения, определяющие зрительный комфорт.
23. Виды освещения и его нормирование.
24. Краткая характеристика естественного освещения.
25. Единицы измерения и факторы нормирования естественной освещенности.
26. Виды естественного освещения и его характеристика.
27. Виды и системы искусственного освещения.
28. Источники искусственного освещения.
29. Методы регулирования светового потока.
30. Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования.
31. Основная характеристика электромагнитного поля.
32. Источники электромагнитных полей.
33. Влияние ЭМП на организм человека.
34. Принципы нормирования ЭМП.
35. Нормирование ЭМП радиочастот.
36. Нормирование ЭМП промышленной частоты.

37. Рекомендации для защиты от ЭМП при эксплуатации компьютеров.
38. Приборы для измерений напряженности электрического поля.
39. Приборы для измерения напряженности магнитного поля.
40. Классификация ионизирующих излучений.
41. Природа ионизирующих излучений.
42. Биологическое действие ионизирующих излучений.
43. Дозиметрические величины и единицы их измерения.
44. Экспозиционная доза рентгеновского и γ излучения.
45. Поглощенная и эквивалентная доза.
46. Коллективная эффективная эквивалентная доза.
47. Источники ионизирующих излучений.
48. Методы измерения ионизирующих излучений.
49. Приборы для измерения ионизирующих излучений.
50. Основные характеристики лазерного излучения.
51. Классификация лазеров.
52. Воздействие лазерного излучения на организм человека.
53. Основные и вредные факторы, возникающие при эксплуатации лазеров.
54. Средства защиты от лазерных излучений.
55. Классификация и единицы измерения УФИ.
56. Источники УФИ.
57. Биологическое воздействие на организм человека.
58. Средства защиты от УФИ.
59. Приборы для измерения УФИ.
60. Нормирование УФИ,
61. Характеристики инфракрасного излучения.
62. Источники инфракрасного излучения.
63. Биологическое действие инфракрасного излучения на организм человека.
64. Средства и методы защиты от инфракрасного излучения.
65. Приборы для измерения инфракрасного излучения.
66. Нормирование инфракрасного излучения.

Глоссарий

Гигиена труда - профилактическая медицина, изучающая условия и характер труда, их влияние на здоровье и функциональное состояние человека И разрабатывающая научные основы и практические меры, направленные на профилактику вредного и опасного действия факторов производственной среды и трудового процесса на работающих.

Условия труда - совокупность факторов трудового процесса и производственной среды, в которой осуществляется деятельность человека.

Вредный производственный фактор - фактор среды и трудового процесса, воздействие которого на работающего при определенных условиях (интенсивность, длительность и др.) может вызвать профессиональное заболевание, временное или стойкое снижение работоспособности, повысить частоту соматических и инфекционных заболеваний, привести к нарушению здоровья потомства.

Тяжесть труда - характеристика трудового процесса, отражающая преимущественную нагрузку на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма (сердечнососудистую, дыхательную и др.), обеспечивающие его деятельность.

Напряженность труда - характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника.

Опасный производственный фактор - фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

Профессиональные заболевания - заболевания, в возникновении которых решающая роль принадлежит воздействию неблагоприятных факторов производственной среды и трудового процесса.

Трудоспособность - состояние человека, при котором совокупность физических, умственных и эмоциональных возможностей позволяют трудящемуся выполнять работу определенного объема и качества (Руководство по врачебной и трудовой экспертизе).

Работоспособность - состояние человека, определяемое возможностью физиологических и психических функций организма, которое характеризует его способность выполнять определенное количество работы заданного качества за требуемый интервал времени.

Ионизирующее излучение - излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов равного знака. Ионизирующее излучение состоит из заряженных и незаряженных частиц, к которым относят также и фотоны. Ультрафиолетовое излучение и видимый свет не относят к ионизирующим излучениям.

Гамма – излучение - фотонное (электромагнитное) косвенно ионизирующее излучение, испускаемое при ядерных превращениях или аннигиляции частиц. Обладает высокой проникающей способностью (средний пробег фотонов в воздухе составляет около ста метров, а в биологической ткани до 10-15 см).

Рентгеновское излучение - совокупность тормозного и характеристического фотонного излучения, генерируемого рентгеновскими аппаратами.

Бета – излучение - электронное (и позитронное) ионизирующее излучение с непрерывным энергетическим спектром, испускаемое при ядерных превращениях. Характеризуется граничной энергией спектра Ермаке. Бета-частицы обладают пробегом (несколько метров в воздухе и несколько сантиметров в биологической ткани). Бета-частицы с энергией от 0,1 до 2 МэВ опасны при их воздействии на кожу, слизистую оболочку глаз, попадании их в легкие и желудочно-кишечный тракт. Бета-частицы с энергией более 2 МэВ опасны для хрусталика глаза.

Альфа – излучение - ионизирующее излучение, состоящее из альфа-частиц (ядер гелия), испускаемых при ядерных превращениях. Альфа-частицы обладают очень малым пробегом (не более нескольких сантиметров в воздухе и не более 0,1 мм в биологической ткани). Альфа - излучатели опасны при загрязнении ими кожи и слизистой оболочки глаз, попадании их в легкие и желудочно-кишечный тракт.

Персонал, профессиональные работники - категория А облучаемых лиц - лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений. Лица моложе 18 лет к работе с источниками ионизирующего излучения не допускаются.

Ограниченная часть населения - категория Б облучаемых лиц - лица, которые не работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждении и (или) удаляемых во внешнюю среду. Уровень облучения лиц категории Б определяется по критической группе.

Население - категория В облучаемых лиц - население страны, республики, края или области.

Мощность эквивалентной дозы (МЭД) - отношение приращения эквивалентной дозы за интервал времени к этому интервалу времени. Единица мощности эквивалентной дозы -зиверт в секунду, Зв/с. 1 Зв/с = 100 бэр/с. Используют производные единицы мкЗв/ч, мЗв/ч. При измерениях используют также мощность поглощенной и экспозиционной дозы.

Эквивалентная доза - основная дозиметрическая величина в области радиационной безопасности, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава при значении эквивалентной дозы за календарный год не более 5 предельно допустимых доз (ПДД), т.е. не превышающего 250 мЗв в год. Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы на средний коэффициент качества к ионизирующего излучения в данном элементе объема биологической ткани. Единица эквивалентной дозы - зиверт, Зв. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ Бэр}$. Бэр - внесистемная единица эквивалентной дозы (биологический эквивалент рада). $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад}$. $1 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ мЗв}$. $1 \text{ мЗв} = 1 \times 10^6 \text{ Зв}$. При определении эквивалентной дозы принимается следующий состав мягкой биологической ткани: 10,1 % водорода, 11,1 % углерода, 2,6 % азота, 76,2 % кислорода (по массе).

Список рекомендуемой литературы:

1. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда): Учебное пособие для вузов/ П. П. Кукин, В. Л. Лапин и др. - М.: Высшая школа, 2001. -319с.
2. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ С. В. Белов, А. В. Ильницкая и др.; Под общ. ред. С. В. Белова. - М.: Высшая школа, 2001.-485с.
3. Безопасность жизнедеятельности: Учебник/ Под ред. Проф. Э. А. Арустамова. - М.: Изд. Дом «Дашков и К⁰», 2000. - 678 с.
4. Русак О. Н., Малаян К. Р. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие/ Под ред. Русака О. Н. - СПб.: Изд. «Лань», 2000. - 448 с.
5. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов/ Д. А. Кривошей, Л. А. Муравей и др.; Под общ. ред. Л. А. Муравья. - М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2000. - 447 с.

Радоуцкий Владимир Юрьевич, Партигул Елена Олеговна,
Янишин Виктор Васильевич

Производственная санитария и гигиена труда

Учебное пособие

Изд. Лиц. ИД № 00434 от 10.11.99.

Подписано в печать _____. Формат 210*148.

Усл. печ. л. _____. Уч. изд. л. _____.

Тираж _____ экз. Заказ _____ Цена _____

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом
университете им. В. Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.