

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

С. Ш. Залаева, Е. А. Носатова, О. А. Рыбка

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ
И ГИГИЕНА ТРУДА**

ЧАСТЬ 2

ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ

Учебное пособие

Белгород
2008

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

С. Ш. Залаева, Е. А. Носатова, О. А. Рыбка

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ
И ГИГИЕНА ТРУДА

ЧАСТЬ 2

ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ

Утверждено ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов специальности 280102– Безопасность технологических
процессов и производств очной формы обучения

Белгород
2008

УДК 658 (07)
ББК 65.247я7
3-22

Рецензенты:

канд. мед. наук, доцент *О. М. Кузьминов*

канд. техн. наук, доцент *В. Ю. Радоуцкий*

Залаева, С. Ш.

Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие:
3-22 в 3 ч. – Ч. 2. Вредные вещества. Производственный шум /
С. Ш. Залаева, Е. А. Носатова, О. А. Рыбка. – Белгород: Изд-во
БГТУ, 2008. – 310 с.

Учебное пособие по дисциплине «Производственная санитария и гигиена труда» подготовлено в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования программы подготовки дипломированных специалистов и научной концепцией в системе «человек – машина – среда обитания». Учебное пособие состоит из трех частей: первая часть – «Производственное освещение. Вибрация»; вторая часть – «Вредные вещества. Производственный шум»; третья часть – «Ионизирующие излучения, лазерные излучения и электромагнитные поля».

В данном учебном пособии рассмотрены вопросы воздействия вредных веществ на производственную деятельность и работу человека. Приведены сведения по классификации вредных веществ и источников их образования, характеристикам шума и его воздействию на человека. Освещены методы санитарно-гигиенического нормирования вредных веществ и параметров шума в производственных помещениях, описаны мероприятия по защите от вредных веществ и борьбе с шумом на производстве.

Учебное пособие предназначено для студентов очной формы обучения специальности 280102 – Безопасность технологических процессов и производств.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 658 (07)
ББК 65.247я7
3-22

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие является продолжением учебного пособия «Производственная санитария и гигиена труда. Часть I. Производственное освещение. Вибрация».

В этой части авторами изложены научные и практические сведения о вредных факторах производственной среды, которыми являются производственный шум и вредные вещества. Воздействие этих негативных факторов приводит к заболеванию работающего или снижению производительности труда.

Известно, что человек может переносить умеренные изменения факторов производственной среды без заметного ухудшения работоспособности благодаря деятельности регуляторных механизмов, управляемых центральной нервной системой. Эти механизмы обеспечивают связь организма человека с окружающей средой, и при изменении факторов окружающей среды они всегда приводят к перестройке функциональных возможностей человека, его потенциальных резервов, адаптивных способностей и возможностей развития последних. Однако возможности человеческого организма не безграничны, поэтому для исключения необратимых эффектов проводят исследования и регламентируют воздействие вредных факторов на человека, что в свою очередь является одним из способов защиты от влияния негативных факторов производственной среды. Знание сущности любого явления, его особенностей воздействия на организм человека позволяет управлять этим явлением и защищаться от него.

Изложенный материал в данном пособии поможет студентам расширить и углубить познания о вредных веществах, в том числе ядах, и шуме на промышленных предприятиях. Авторами приведены существующие

классификации рассматриваемых вредных факторов, особенности воздействия на организм человека, современные способы и средства защиты от них.

1. ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

В современных условиях число химических веществ, применяемых в разных сферах, неуклонно растет: уже зарегистрировано более 19 млн. веществ, и каждый год на рынке появляется около двух тысяч новых.

В результате производственной деятельности в воздушную среду могут поступать различные вредные вещества в виде паров, газов, пыли, которые отрицательно воздействуют на организм человека и окружающую среду.

Остановимся на основных понятиях, которые будут встречаться при изучении этой темы.

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений (ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация. Общие требования безопасности»).

Яд – вещество, вызывающее отравление или смерть при попадании в организм. При воздействии яда на организм происходит *отравление* – интоксикация. *Интоксикация* (лат. *in* в, внутрь + греч. *toxikon* яд) – патологическое состояние, вызванное эндогенного или экзогенного происхождения. Во многих случаях отравление и интоксикация используются как синонимы. Отравление следует рассматривать как заболевание химической этиологии, «химическую травму». Последствия «химической травмы» зависят от количества (дозы) поступившего в организм яда. К ядам могут быть отнесены не только химические соединения, но и другие материалы, зоотоксины, различные микроорганизмы. Все они способны привести к патологическим изменениям в

организме, вызывая те или иные повреждения в тканях, органах, системах.

Токсин – вещество бактериального, растительного или животного происхождения, способное при попадании в организм человека или животных вызывать заболевание или гибель. Таким образом, термин «токсин» чаще применяют к веществам, которые могут быть выделены из «живого вещества» – растений, животных, грибов или бактерий. Термин «токсикант» обычно используется, когда речь идет о ядах антропогенного происхождения, например промышленных выбросах.

Токсичность – способность вещества вызывать нарушение физиологических функций организма, в результате чего возникают симптомы интоксикации (заболевания), а при тяжелых поражениях – гибель.

Часто используют понятие «избирательная токсичность», под которой следует понимать токсичность, проявляющуюся в виде поражения лишь определенных биологических структур.

Токсикология (от греч. *toxikon* яд и *logos* – учение) – наука, изучающая свойство ядов и физических факторов, механизмы их действия на организм человека и разрабатывающая методы диагностики, лечения и профилактики отравлений.

1.1. Типы токсических доз и концентраций

Степень токсичности вещества определяет *доза* – это количество вещества, введенное или попавшее в организм (отнесенное, как правило, к единице массы тела человека или животного) и дающее определенный токсический эффект. При этом, чем меньше токсическая доза, тем выше токсичность яда.

В токсикологии различают несколько типов доз.

Доза токсическая – доза, вызывающая в организме патологические изменения, не приводящие к смертельному исходу.

Доза токсическая минимальная – пороговая доза в отношении эффекта, выходящего за пределы нормальных физиологических реакций.

Доза смертельная минимальная – доза, вызывающая за фиксированный период времени гибель единичных,

наиболее чувствительных подопытных животных; принимается за нижний предел дозы смертельной.

Доза смертельная абсолютная – доза, вызывающая за фиксированный период времени гибель не менее 99 % подопытных животных.

Доза смертельная средняя – доза, вызывающая за фиксированный период времени гибель 50 % подопытных животных.

Для обозначения доз пользуются различными типами сокращений: среднесмертельные дозы (медианосмертельные) – DL_{50} , абсолютно смертельные DL_{90-100} , минимально смертельные – DL_{0-10} , среднеэффективные (медианоэффективные) – DE_{50} . Нижний индекс представляет собой вероятность проявления определенного эффекта – смерти, порогового действия и др. в процентах.

Степень токсичности вещества зависит от многих факторов: аллотропной модификации (например, желтый и красный фосфор); степени окисления элементов (соединения мышьяка III и V); растворимость (каломель Hg_2Cl_2 и сулема $HgCl_2$; фазового состояния (жидкая ртуть и ртутные пары); степени дисперсности (диоксид кремния в виде природного кремнезема или высокодисперсного талька); растворимости вещества в полярных и неполярных растворителях и его способности диссоциировать с образованием ионных форм (гидрофильный арсенит натрия $NaAsO_2$ и липофильный триметиларсин $(CH_3)_3As$).

Степень токсичности вещества можно охарактеризовать также *предельно допустимой концентрацией* (ПДК). ПДК были введены для нормирования допустимого содержания токсикантов при защите от профессионального воздействия или загрязнений окружающей среды. Это максимальное количество вещества в единице объема воздуха или воды, которое при ежедневном воздействии на организм в течение длительного времени не вызывает в нем патологических изменений, а также не нарушает нормальную жизнедеятельность человека. В разных странах разработаны инструкции, устанавливающие безопасные ПДК химических веществ в воздухе рабочей зоны.

При обосновании ПДК необходим комплексный учет различных признаков (критериев, показателей) вредного действия химических веществ – органолептического, общесанитарного, санитарно-токсикологического и др.

Установление ПДК производится по лимитирующему признаку вредности.

Лимитирующий признак вредности – один признаков вредности химических загрязнений атмосферного воздуха, воды, почвы, пищевых продуктов, определяющих преимущественное неблагоприятное воздействие и характеризующийся наименьшей величиной эффективной (т.е. вызывающей определенный эффект) или неэффективной концентрации. Существующая система гигиенических нормативов и порядок их установления будут рассмотрены нами ниже в этой главе.

Основанием для установления ПДК является концепция пороговости вредного действия веществ. *Порог вредного действия* (однократного и хронического) – это минимальная концентрация вещества в объекте окружающей среды, при воздействии которой в организме (при конкретных условиях поступления вещества в стандартной статистической группе биологических объектов) возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология. Порог однократного действия обозначается символом Lim_{ac} , порог хронического действия символом – Lim_{ch} .

Пороговость действия – один из основных принципов гигиены и профилактической токсикологии.

Аналогично устанавливается порог специфического (избирательного) действия. Это минимальная концентрация (доза), вызывающая изменение биологических функций отдельных органов и систем организма, которые выходят за пределы приспособительных физиологических реакций. Обозначается символом Lim_{sp} .

Следует отметить, что пороговость действия вредных факторов связана с особенностями живого объекта,

характеризующегося постоянным обменом веществом и энергией с окружающей средой, наличием систем гомеостаза, способствующим восстановлению своей структуры, и приспособлением к окружающей среде.

Концентрации действующего вещества выражаются обычно в следующих единицах: г/м^3 , мг/л , мг/кг , в частях на миллион (англоязычной литературе: *ppm – parts per million*). Например, для ПДК вредного вещества в воздухе.

$$\text{ПДК (мг/м}^3) = M/22,4 \cdot \text{ПДК (ppm)}, \quad (1.1)$$

где M – молекулярная масса вредного вещества; ПДК (ppm) – ПДК в объемных частях на миллион.

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны – концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю, в течение всего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений, ПДК, мг/м^3 . Это среднесменная ПДК в воздухе рабочей зоны.

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

Существуют ещё две категории ПДК: ПДК для коротких интервалов времени – максимальная концентрация, которая не может быть превышена в течение не более чем 15-минутной экспозиции и максимальная ПДК, которая никогда не должна превышать.

Средняя смертельная концентрация в воздухе – концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % животных при двух-, четырехчасовом ингаляционном воздействии, CL_{50} , мг/м^3 .

Величины средних смертельных концентраций и доз, установленные непосредственно в эксперименте, рассматриваются как показатели абсолютной токсичности вредных веществ. Степень токсичности вещества тем больше, чем меньше величины DL_{50} и CL_{50} . Степень токсичности определяется отношением $1/CL_{50}$ или $1/DL_{50}$.

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

$$\text{КВИО} = C^{20}/CL_{50}. \quad (1.2)$$

КВИО объединяет два важнейших показателя опасности острого отравления: летучесть вещества и дозу, вызывающую наибольший биологический эффект, то есть гибель организма. Анализ оценки опасности различных вредных веществ по величине КВИО показывает, что в ряде случаев малотоксичное, но высоколетучее вещество в условиях производства может оказаться более опасным в развитии острого отравления, чем высокотоксичное, но малолетучее соединение. Так, например, ацетальдегид, обладая умеренной токсичностью ($CL_{50} = 21800 \text{ мг/м}^3$), является высоколетучим ($C^{20} = 182 \cdot 10^4 \text{ мг/м}^3$) и по величине КВИО относится к высокоопасным веществам (КВИО = 82).

Зона острого (однократного) 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:

$$Zac = CL_{50}/Lim_{ac}. \quad (1.3)$$

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 часа, пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев:

$$Zch = Lim_{ac}/Lim_{ch}, \quad (1.4)$$

где Lim_{ac} – порог острого действия (от англ. *limit* – граница, предел и *acute* – острый); Lim_{ch} – порог хронического действия (от англ. *chronic* – хронический, длительный).

Зона острого действия характеризует способность организма к обезвреживанию и выведению вредного вещества и компенсации поврежденных функций. Чем меньше ее количественная характеристика, тем больше возможность развития острого отравления. При токсикологической оценке вредных веществ нельзя исходить только из результатов острых экспериментов, так как часто вредные вещества, обладающие низкой токсичностью в остром опыте, при хроническом воздействии в малых концентрациях оказываются высоко опасными.

Классическими примерами таких веществ являются ртуть, свинец, марганец и другие тяжелые металлы; среди органических соединений – бензол, тринитротолуол и др. Величина зоны хронического действия используется для характеристики опасности вещества при хроническом воздействии. Опасность хронического отравления прямо пропорциональна величине зоны хронического действия. Чем зона хронического действия шире, тем больше опасность хронической интоксикации и наоборот.

На рис. 1.1 приведена зависимость интенсивности вредного воздействия вещества от параметров токсиметрии.

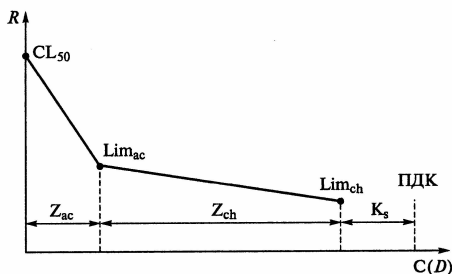


Рис. 1.1. Зависимость интенсивности вредного воздействия вещества от параметров токсикометрии:

R – интенсивность вредного воздействия (летальное, острое, хроническое отравление); $C(D)$ – параметры токсикометрии; CL_{50} – средняя смертельная концентрация в воздухе; Lim_{ac} – порог острого действия; Lim_{ch} – порог хронического действия;

$ПДК$ – предельно допустимая концентрация; Z_{ac} , Z_{ch} – зоны острого и хронического действия (показаны на рис. условно); K_s – коэффициент запаса

1.2. Классификации вредных веществ

Существует большое количество различных классификаций вредных веществ (ядов), отражающих как многообразие свойств веществ, так и разнообразие подходов к действию этих веществ на живой организм различных специалистов. Ниже приведены наиболее распространенные классификации вредных веществ.

Все вредные вещества по характеру воздействия на человека можно разделить на две группы: *токсичные* и *нетоксичные*.

Токсичные вещества, как правило, вступают во взаимодействие с организмом человека, вызывая различные отклонения в состоянии здоровья работающего.

Нетоксичные вещества в большинстве своем оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки дыхательных путей, глаза и кожу работающих.

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

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

- ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;
- лекарственные средства;
- бытовые химикаты, используемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота), средства санитарии, личной гигиены, косметики и т.д.;
- биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута), у животных и насекомых (змеи, пчел, скорпионов);
- 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.

По степени воздействия на организм человека все вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности (ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»):

1. Вещества чрезвычайно опасные (3,4-бенз(а)пирен, тетраэтилсвинец, ртуть, озон, фосген и др.).
2. Вещества высоко опасные (бензол, сероводород, оксиды азота, марганец, медь, хлор и др.).
3. Вещества умеренно опасные (нефть, метанол, ацетон, сернистый ангидрид).
4. Вещества малоопасные (бензин, керосин, метан, этанол и др.).

Следует отметить, что вещества малоопасные в больших концентрациях могут вызвать тяжелые отравления.

Общее признание получила гигиеническая классификация ядов, в основе которой лежит количественная оценка токсической опасности химических веществ в соответствии со значениями токсикологических

параметров. Пользуясь этой классификацией, токсичное вещество можно отнести к определенному классу токсичности отражающему его большую или меньшую опасность (табл. 1.1).

Класс опасности вредного вещества устанавливается в зависимости от величины семи показателей токсикометрии, приведенных в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Классификация вредных веществ по степени
воздействия на организм**

Наименование показателей	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, ПДК мг/м ³	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	Более 10
Средняя смертельная доза при введении в желудок, DL ⁵⁰ , мг/кг	Менее 15	15–150	151–5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, DL ⁵⁰ , мг/кг	Менее 100	100–500	501–2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, CL ⁵⁰ , мг/м ³	Менее 500	500–5000	5001–50000	Более 50 000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления, КВИО	Более 300	300–30	29–3	Менее 3
Зона острого действия, Z _{ac}	Менее 6,0	6,0–18,0	18,1–54,0	Более 54,0
Зона хронического действия, Z _{ch}	Более 10,0	10,0–5,0	4,9–2,5	Менее 2,5

Показатели токсикометрии – это количественные показатели токсичности и опасности вредного вещества. При оценке опасности для одного и того же вещества по ряду показателей можно получить разные классы, но определяющим должен быть показатель, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

По характеру воздействия на организм человека вредные вещества в соответствии с ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» подразделяются на следующие группы:

– общетоксические;

- раздражающие;
- сенсibiliзирующие;
- канцерогенные;
- мутагенные;
- влияющие на репродуктивную функции.

Большинство промышленных вредных веществ обладает общетоксическим действием. К их числу относятся ароматические углеводороды и их производные (бензол, толуол, ксилол, нитробензол, анилин), ртуть и фосфорорганические соединения, тетраэтилсвинец, метиловый спирт, оксид углерода и т.д.

Раздражающим действием обладают различные химические вещества. Одни вызывают воспаление верхних дыхательных путей (сероводород, хлор, аммиак), другие – глубоких дыхательных путей, т.е. легочной ткани (оксид азота, ароматические углеводороды). Сильные кислоты и щелочи, многие ангидриды кислот оказывают местное действие на кожу, вызывая ее омертвление. Нефть и продукты ее переработки (бензин, керосин и др.), попадая на кожу, обезжиривают и сушат ее, вызывая различные кожные заболевания (экземы, дерматиты).

Сенсибилизирующие вещества вызывают повышенную чувствительность (аллергические реакции) организма человека. При каждом повторном даже кратковременном контакте эффект действия на человека увеличивается, приводя к астматическим явлениям, кожным реакциям, изменениям состава крови. К веществам, вызывающим сенсибилизацию, относятся формальдегид, ароматические нитро-, нитрозо-, аминосоединения, карбонилы никеля, железа, кобальта, некоторые антибиотики, например, эритромицин и др.

Канцерогенные вещества, попадая в организм человека, вызывают образование, как правило, злокачественных или доброкачественных опухолей. Канцерогенная опасность

зависит от уровней и длительности воздействия конкретных веществ.

В гигиенических нормативах ГН 1.1.029–95 приведен перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека. Перечень подразделяется на 2 раздела.

1. Вещества, продукты, производственные процессы и факторы с доказанной для человека канцерогенностью.

2. Вещества, продукты, лекарственные препараты и производственные процессы, вероятно канцерогенные для человека.

В раздел 1 входят асбесты, бензол, бенз(а)пирен, бериллий и его соединения, каменноугольные и нефтяные смолы, минеральные масла неочищенные и неп полностью очищенные, сажи бытовые, этилена оксид и др. Производство кокса, переработка каменноугольной, нефтяной и сланцевой смол, газификация угля, производство резины и резинотехнических изделий и др. К бытовым и природным факторам с доказанной канцерогенностью относятся солнечная радиация и табачный дым, поскольку в нем содержится бенз(а)пирен.

В раздел 2 «Перечня» включены вещества и факторы, канцерогенность которых согласно данным МАИР (международного агентства по изучению рака) доказана на животных, а доказательства канцерогенности для человека недостаточны. Это, например, отработавшие газы дизельных двигателей, формальдегид и др. (в прил. 1 приведены классификация канцерогеноопасных производственных факторов, методы определения канцерогенного риска работающих, производственные процессы и производства с доказанной канцерогенной опасностью для человека).

Мутагенные вещества вызывают изменение генетического кода клеток, наследственной информации. Это может вызвать снижение иммунитета организма, раннее старение, развитие заболеваний. Действие мутагенных веществ может сказаться на потомстве, не всегда первого, а возможно второго и третьего поколений. Мутагенной активностью обладают формальдегид, этилена оксид, радиоактивные и наркотические вещества.

К веществам, влияющим на репродуктивную (детородную) функцию, относят бензол и его производные, сероуглерод, соединения ртути, радиоактивные вещества и др.

Среди веществ, влияющих на репродуктивную функцию, выделяется особая группа веществ, обладающих тератогенным действием. Тератогенные вещества вызывают дефекты развития ребенка в организме матери. К таким веществам относятся, например, талидомид, никотин, наркотики и некоторые вирусы, например вирус гепатита и т.д.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и малотоксичные (табл. 1.2.). 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. Общая токсикологическая классификация вредных веществ приведена в табл. 1.2.

Токсикологическая классификация ядов носит общий характер. Более детально яды можно классифицировать, принимая во внимание процессы формирования токсических эффектов при их взаимодействии с рецепторами токсичности, расположенными в органах/системах-мишенях, т.е. в соответствии с избирательной токсичностью (табл. 1.3). *Рецептор токсичности* – это химически

активная группировка, в норме участвующая в метаболизме клетки, у которой способна присоединиться молекула яда.

Таблица 1.2

Токсикологическая классификация вредных веществ

Общее токсическое воздействие	Токсичные вещества
Нервно-паралитическое действие (бронхоспазм, удушье, судороги и параличи)	Фосфорорганические инсектициды (хлорофос, карбофос, никотин, ОВ и др.)
Кожно-резорбтивное действие (местные воспалительные и некротические изменения в сочетании с общетоксическими резорбтивными явлениями)	Дихлорэтан, гексахлоран, уксусная эссенция, мышьяк и его соединения, ртуть (сулема)
Общетоксическое действие (гипокси-ческие судороги, кома, отек мозга, параличи)	Синильная кислота и ее производные, угарный газ, алкоголь и его суррогаты, ОВ
Удушающее действие (токсический отек легких)	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

Таблица 1.3

Классификация ядов по избирательной токсичности

Токсичные вещества	Действие на орган/систему-мишень
Сердечные гликозиды, трициклические антидепрессанты, избыток иона калия	Кардиотоксическое
Наркотические анальгетики, транквилизаторы, снотворные средства, фосфорорганические соединения, угарный газ, спирты	Нейротоксическое
Органические растворители (летучие яды), спирты и гликоли, ядовитые грибы	Гепатотоксическое
Соли тяжелых металлов, гликоли	Нефротоксическое
Ароматические амины, летучие гидриды р-элементов (арсин, фосфин и др.), нитриты	Гематотоксическое
Концентрированные кислоты и щелочи	Гастроэнтеротоксическое

Как видно из примеров, в приведенных выше классификациях, одно и то же химическое вещество может относиться к различным

классам вредных веществ (токсикантов), что лишний раз говорит об ограниченности любой классификации.

1.3. Пути поступления вредных веществ (ядов) в организм

Одинаковые дозы вредных веществ (ядов) могут давать различные токсические эффекты. Поступление вредных веществ в организм может осуществляться *энтеральным* и *парентеральным* (*par* – минуя) путями. Энтеральное поступление токсиканта в организм означает его проникновение через рот (перорально) с последующим всасыванием в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Парентеральные пути поступления разнообразны: трансдермальный, ингаляционный, внутримышечный и др.

Абсорбция (всасывание) – это перенос вредного вещества из места поступления (введения) в системный кровоток. Механизмы абсорбции вредных веществ в значительной степени зависят от пути поступления в организм. Кожа, легкие, ЖКТ – главные барьеры между внутренней средой организма и окружающей средой, в которой находится огромное число химических веществ – токсикантов. Преодолевая защитные барьеры, токсикант поступает в кровоток и распределяется по всему организму. Исключение составляют едкие и разъедающие вещества (кислоты, основания, соли, окислители), оказывающие местное (локальное) токсическое действие.

В производственных условиях основными путями поступления вредных веществ (ядов) в организм являются органы дыхания (ингаляционный путь) и кожные покровы (трансдермальный), меньшее значение имеет поступление ядов через желудочно-кишечный тракт.

1.3.1. Поступление токсикантов через желудочно-кишечный тракт

Содержимое ЖКТ можно рассматривать как часть внешней среды. Токсичные вещества, за исключением прижигающих ядов, до всасывания в кровоток не оказывают повреждающего действия на организм, и только после всасывания можно говорить о формировании токсического эффекта.

Абсорбция токсиканта возможна во всех отделах ЖКТ, от ротовой полости до прямой кишки. Большинство токсикантов всасываются по механизму простой диффузии. Липофильные вещества абсорбируются быстрее и эффективнее, чем водорастворимые соединения. Если токсикант – органическая кислота или основание, то абсорбция протекает в тех частях ЖКТ, где преобладают неионизированные формы [кислоты – при низких рН ($\text{pH} < \text{pK}_a$), основания – при высоких рН ($\text{pH} > \text{pK}_a$)]. Константы кислотности или основности (K_a и K_b) токсиканта, площадь всасывающей поверхности, скорость кровотока – важные параметры процесса абсорбции.

В ЖКТ млекопитающих содержатся специальные транспортные системы для абсорбции питательных веществ и электролитов, некоторые из них снижают абсорбцию вредного вещества (яда).

Большое значение имеет способность токсического вещества подвергаться химическому превращению в кислой среде желудка. Если токсикант долго находится в кишечнике, то пропорционально возрастает продолжительность абсорбции. Время пребывания вредного вещества в кишечнике зависит от его растворимости и от кишечной моторики.

Вредные вещества, абсорбируемые в ЖКТ, подвергаются пресистемной элиминации. *Пресистемной элиминацией*, или *эффектом первого прохождения* называется процесс удаления химического вещества до поступления его в системную циркуляцию. Мукоциты

ЖКТ и печень могут удалять значительную долю токсиканта, которая обычно уменьшает токсическое действие химического соединения. Таким образом, пресистемная элиминация уменьшает действие химического соединения.

1.3.2. Ингаляционное поступление токсикантов

В альвеолах абсорбируются газы, пары летучих жидкостей и аэрозоли. Площадь активной поверхности альвеол составляет 90–100 м². Альвеолы имеют мощное кровоснабжение.

Прежде чем «летучий» яд попадет в альвеолы, он проходит через носовой ход с носовыми пазухами, в результате чего значительно увеличивается площадь абсорбирующей поверхности. Частицы яда при достаточно хорошей растворимости в воде и высокой реакционной способности могут сохраняться в носовой слизи и удаляться при дыхании и чиханье, не попадая в легкие.

При попадании в легкие «летучий» яд диффундирует через альвеолярные мембраны в кровь и растворяется до тех пор, пока не установится равновесие между кровью и газовой фазой альвеол $Tox_{альв} \leftrightarrow Tox_{кр}$ (рис.1.2). Равновесие количественно характеризуется отношением концентрации токсичного вещества, растворенного в крови ($C_{кр}$), к концентрации в газовой фазе альвеол ($C_{альв}$) – коэффициентом распределения $k = C_{кр}/C_{альв}$. При достижении динамического равновесия скорость переноса молекул «летучего» яда из альвеол в кровь становится равна скорости удаления его молекул из крови в альвеолы. Значение коэффициента распределения зависит в первую очередь от химической природы яда.

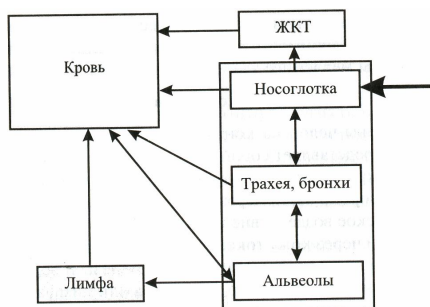


Рис.1.2. Абсорбция и распределение химических веществ при ингаляционном поступлении

Для «летучих» ядов с низкими значениями коэффициента распределения ($C_{кр} \ll C_{альв}$) абсорбция зависит в основном от скорости кровотока через легкие (перфузионные ограничения). Для летучих веществ с высоким отношением коэффициента распределения ($C_{кр} \gg C_{альв}$) абсорбция является функцией частоты и глубины дыхания (вентиляционные ограничения).

Кровь переносит молекулы «летучего» яда по всему организму. Молекулы яда перемещаются из крови в ткани. После частичного высвобождения токсиканта в ткани кровь возвращается к легким для дополнительного насыщения. Это продолжается до достижения равновесия между кровью и отдельной тканью: $Tox_{кр} \leftrightarrow Tox_{тк}$. С этого момента при постоянстве экспозиционной концентрации всасывания «летучего» яда не происходит. В случае биотрансформации или экскреции альвеолярная абсорбция продолжается до достижения устойчивого равновесного состояния.

На абсорбцию аэрозолей влияют размер частиц дисперсной фазы и растворимость в воде химических веществ, присутствующих в аэрозоле. Место осаждения частиц зависит от их размера. Частицы размером более 5

мкм обычно оседают в носоглотке и удаляются с носовой слизью при дыхании и чиханье.

Покрытые слизью носовые реснички при движении ускоряют перемещение нерастворимых частиц. Эти частицы и частицы, вдыхаемые через рот, заглатываются в течение нескольких минут. Растворимые частицы могут раствориться в носовой слизи и также заглатываются или абсорбируются через носовой эпителий в кровь.

Очищение воздухоносных путей от частиц размером от 2 до 5 мкм происходит обратным переносом из реснитчатых отделов слизистой оболочки. В итоге частицы также могут заглатываться и абсорбироваться из ЖКТ.

Частицы размером 1 мкм и меньше попадают в альвеолы. Они могут абсорбироваться в кровь или удаляться через лимфатическую систему после поглощения альвеолярными макрофагами.

Удаление или абсорбция частиц аэрозолей из альвеол протекает по трем основным механизмам. Во-первых, частицы могут удаляться из альвеол механически, путем откашливания. Они попадают в рот и могут заглатываться. Во-вторых, частицы из альвеол могут быть удалены фагоцитозом с участием большого числа макрофагов легких, поглощающих частицы экзогенного происхождения. В-третьих, возможно их удаление через лимфатическую систему, причем макрочастицы могут долго оставаться в лимфатических узлах.

Полного удаления частиц из альвеол не происходит. Обычно в 1-е сутки удаляется около 20 % частиц; оставшиеся частицы выводятся очень медленно. Скорость выведения веществ можно прогнозировать на основании их растворимости в альвеолярной жидкости: чем меньше растворимость, тем медленнее удаление.

1.3.3. Абсорбция вредных веществ через кожу

Кожные покровы человека контактирует со многими токсичными агентами. Кожа представляет собой защитный барьер организма, отделяющий его от окружающей среды. Тем не менее, некоторые химические вещества абсорбируются через кожу в значительных количествах, оказывая токсическое воздействие на весь организм.

При абсорбции через кожу токсикант должен пройти через эпидермис или придатки кожи (потовые и сальные железы и волосяные фолликулы). Прежде чем попасть в кровеносную или лимфатическую систему, химические вещества проходят через несколько клеточных слоев. Кожную абсорбцию химических веществ лимитирует переход через верхний слой эпидермиса с близко расположенными ороговевшими клетками, потерявшими ядра и поэтому биологически неактивными.

Все токсиканты проникают через ороговевший слой путем пассивной диффузии. Полярные вещества, по-видимому, диффундируют через внешнюю поверхность гидратированных белковых молекул рогового слоя. Неполярные молекулы растворяются и диффундируют через липидные слои. Проницаемость кожи определяется как диффузионной способностью токсиканта, так и толщиной ороговевшего слоя. Его толщина больше на ладонях и подошвах (400–600 мкм в загрубевших частях) и меньше на спине и животе (5–15 мкм).

Подкожная абсорбция включает диффузию токсиканта через нижние слои эпидермиса и дерму. Эти барьерные слои, располагающиеся глубже рогового слоя, содержат поры, неселективные водно-диффузионные среды. Токсиканты проникают через них путем диффузии и попадают в общий кровоток через многочисленные кровеносные и лимфатические сосуды дермы.

1.4. Действие вредных веществ на организм человека

На рис. 1.3 показаны различные уровни, на которых могут быть обнаружены нарушения нормальных физиологических процессов в организме человека. Стрелками показаны последствия для человека, которые могут быть определены сверху вниз (от воздействия и фарма-кокинетики до токсического воздействия на систему/орган) или снизу вверх (от изменения молекул и клеточные/биохимические эффекты до токсического воздействия на системы/органы).

В крови и тканях, куда яды поступают с током крови, происходят процессы из физико-химического взаимодействия с клеточными мембранами, белковыми структурами и другими компонентами клеток и межклеточной среды. Биологическая направленность этих процессов – обезвреживание ядов различными путями.

Фармакокинетика описывает временную зависимость между абсорбцией, распределением, метаболизмом и элиминацией.

Абсорбция – это поглощение организмом вещества из окружающей среды.

Распределение вещества внутри организма является динамичным процессом, зависящим от скорости поступления и выведения, а также кровоснабжения различных тканей и их сродства с веществом.

Метаболизм – биохимические изменения веществ в организме. Обозначает происходящие в организме химические реакции распада или синтеза, где ферменты играют роль катализатора.

Элиминация – выведение химического вещества из организма.

Рассмотрим эти процессы подробнее. Распределение вредных веществ в организме подчиняется определенным

закономерностям. Сразу же после поступления в кровь вещество разносится по всем тканям и органам и соответственно задерживается в них. В этой первой фазе распределения основное значение для вещества играет кровоснабжение ткани или органа – чем оно больше, тем больше содержание вещества. Таким образом, первоначально происходит динамическое распределение вещества в соответствии с интенсивностью кровоснабжения. Затем основную роль начинает играть сорбционная способность тканей. Постепенно происходит перераспределение веществ с преимущественным их накоплением в тканях, сорбционная емкость которых оказывается для данных веществ наибольшей. Например, для ряда металлов (серебро, марганец, хром, кобальт, ванадий, кадмий, цинк) характерно достаточно быстрое выведение из крови с наибольшим накоплением в печени и почках. Растворимые и хорошо диссоциирующие соединения свинца, бериллия, бария, урана образуют прочные связи с кальцием и фосфором и накапливаются преимущественно в костной ткани.

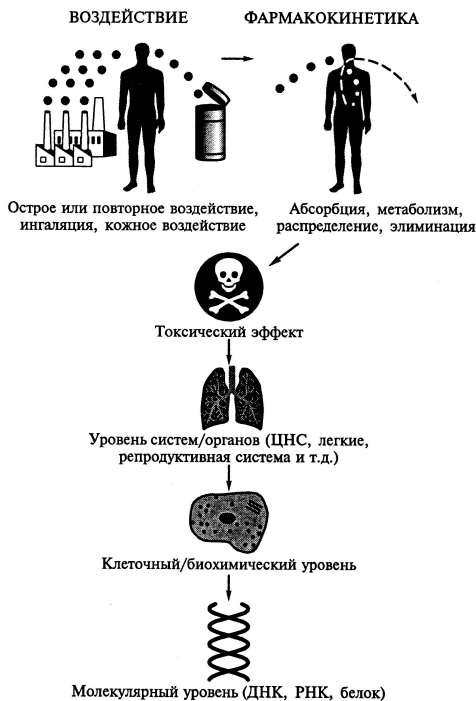


Рис. 1.3. Действие вредных веществ на человека

В крови и тканях происходят процессы физико-химического взаимодействия вредных веществ с клеточными мембранами, белковыми структурами и другими компонентами клеток и межтканевой среды. Биологическая направленность этих процессов – обезвреживании вредных веществ различными путями.

Первый и главный путь обезвреживания – изменение химической структуры вредных веществ. Процессы метаболизма вредных веществ под действием ферментов многообразны и включают их окисление, восстановление, гидролиз и др. Это приводит, как правило, к образованию менее токсичных веществ, например, обладающих меньшей способностью проникать в клетку или большей растворимостью и, следовательно, лучше удаляемых из

организма. Однако из этого общего правила есть исключения: так, например, метанол окисляется до более вредно действующих формальдегида и муравьиной кислоты, что увеличивает тяжесть отравления.

Вторым путем обезвреживания вредных веществ является их депонирование. Депонирование (откладывание в тех или иных органах) является временным путем уменьшения количества циркулирующего в крови вредного вещества. Например, тяжелые металлы (свинец, ртуть) часто откладываются в костях, печени, почках, образуя так называемые депо. Этот процесс не является полноценным методом обезвреживания, поскольку вредные вещества могут из депо вновь поступать в кровь, особенно при нервном напряжении, заболеваниях, приеме алкоголя.

Третий путь обезвреживания – выведение вредных веществ из организма. Токсичные вещества и их метаболиты выделяются через органы дыхания, пищеварения, через почки и кожу (с потом). При этом вредные вещества могут выделяться несколькими путями одновременно. Например, органические соединения ароматического ряда обычно частично выводятся в неизменном виде с выдыхаемым воздухом, а частично – в измененном виде через почки и желудочно-кишечный тракт, тяжелые металлы – через желудочно-кишечный тракт и почки.

Схема превращений вредных веществ в организме в самом общем виде представлена на рис. 1.4.

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

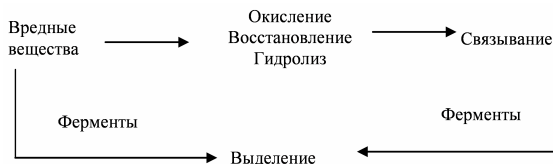


Рис. 1.4. Превращений вредных веществ в организме человека

1.5. Классификация отравлений

Классификация отравлений проводится по причине их возникновения. Отравления могут быть *случайными* (авария на производстве или несчастный случай в борту) и *преднамеренными* (например, криминальные). По условиям и месту развития отравления разделяют на *производственные* и *бытовые*. Остановимся на производственных отравлениях.

Острые профессиональные отравления чаще всего бывают групповыми и возникают в случае аварий, поломок оборудования, грубых нарушений требований производственной безопасности и санитарии. Эти отравления характеризуются:

- кратковременностью действия вредного вещества – не более чем в течение одной смены;
- поступлением вредного вещества в организм в относительно больших количествах – при высоких концентрациях в воздухе, ошибочном приеме внутрь, сильном загрязнении кожных покровов;
- яркими клиническими проявлениями непосредственно в момент действия вредного вещества или через относительно небольшой – обычно несколько часов – скрытый (латентный) период.

В развитии острого профессионального отравления, как правило, имеются две фазы: первая – неспецифических проявлений (головная боль, слабость, тошнота и т.д.) и

вторая – специфических (например, отек легких при отравлении оксидами азота или паралич дыхания при отравлении сероводородом).

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном поступлении вредных веществ в организм в относительно небольших количествах. Они развиваются в результате накопления массы вредного вещества в организме (материальная кумуляция) или вызываемых им нарушений (функциональная кумуляция). Поражаемые органы и системы в организме при хроническом и остром отравлениях одним и тем же веществом могут отличаться. Например, при остром отравлении бензолом в основном страдает нервная система и наблюдается наркотическое действие, при хроническом – система кроветворения.

Наряду с острыми и хроническими отравлениями выделяют *подострые формы*, которые по условиям возникновения и проявлениям аналогичны острым отравлениям, но развиваются медленнее и имеют более затяжное течение.

Вредные вещества могут быть причиной не только острых, подострых и хронических отравлений, но и действовать аналогично ВИЧ, снижая иммунобиологическую сопротивляемость организма.

При повторяющемся воздействии небольших концентраций вредных веществ возможно развитие адаптации. *Адаптация* к действию химических веществ – приспособление организма, не выходящее за пределы его физиологических возможностей. Адаптацию к действию яда, например, успешно использовал граф Монте-Кристо в знаменитом романе Александра Дюма. Некоторые вещества – адаптогены (витамины, женьшень, элеутерококк и др.) способствуют активации биохимических процессов и повышают сопротивляемость организма многим вредным веществам.

Обезвреживание (детоксикация) токсичных веществ, в том числе и их выведение, может быть ускорено с помощью антидотов (противоядий) и специального питания (молока).

1.6. Профессиональные заболевания, вызываемые действием вредных веществ (ядов)

Как говорилось выше, вредные вещества разнообразны по химической структуре. Наряду с общетоксическим влиянием многие из них оказывают общераздражающее (галогены, углеводороды, кислоты, соли щелочных металлов и др.), сенсibiliзирующее (хром, титан, никель, полимеры, формальдегид, канифоль и др.) действие.

При попадании в организм ингаляционным путем в виде промышленных аэрозолей они способны всасываться, создавая временные (кровь, паренхиматозные органы) или постоянные (костные ткани, центральная нервная система, подкожно-жировая клетчатка) депо.

Попадая в депо, соединения ртути, свинца, гексохлорциклогексана и др. в силу своей жесткой химической структуры не разрушаются и в связи с этим по мере длительного поступления в организм работающих вызывают материальную кумуляцию. Другие яды, быстро разрушаясь и превращаясь в различные соединения, сравнительно легко выводятся из организма с калом, мочой, потом, слюной. Однако при этом некоторые химические вещества – фосфорорганические соединения и др. – способны вызывать функциональную кумуляцию, то есть состояние, при котором формируется дезадаптация – снижение дезинтоксикационной функции систем и органов, регуляторно-приспособительных реакций. В результате функциональной кумуляции имевшиеся ранее общие заболевания могут стать декомпенсированными.

При диагностике хронических профессиональных отравлений наряду с приведенными данными учитываются:

1. Профессиональный маршрут, наличие на рабочем месте конкретного яда выше ПДК.

2. Развитие на фоне воздействия яда неспецифических реакций со стороны наиболее реактивных систем, чаще нервной (в виде нейроциркуляторной, вегетативно-сосудистой дистонии), эндокринной (эндокринопатия).

3. Появление в динамике специфических реакций – поражение кроветворного аппарата (при воздействии бензола и его производных, соединений мышьяка, стирола), гепатобилиарной системы (большинство ядов), органов дыхания (контакт с галогеносодержащими соединениями, серным и сернистым ангидридом, аммиаком и др.).

4. Наличие в моче, крови, слюне больных ядов (ртуть, свинец, мышьяк и др.) или выявление характерных для воздействия некоторых ядов специфических патогенетических сдвигов (снижение активности холинэстеразы при отравлении фосфорорганическими соединениями, повышение числа ретикулоцитов, базофильнозернистых эритроцитов, дельта-аминолевулиновой кислоты при отравлении свинцом).

В результате воздействия промышленных ядов возможны *острые и хронические* интоксикации. Острые отравления наблюдаются, как правило, при аварийных ситуациях, когда значительное количество вредных веществ одновременно поступает в воздух рабочей зоны.

Клинические признаки острой интоксикации могут появляться в различные сроки: в одних случаях они возникают сразу после воздействия яда, в других – развитию характерной симптоматики предшествует скрытый (латентный) период, продолжительность

которого колеблется от нескольких часов до нескольких суток.

Наиболее часто встречаются *хронические профессиональные отравления*, причиной которых является длительная работа в условиях относительно невысоких концентраций (незначительно превышающих ПДК) вредных веществ. В их развитии важное значение имеет кумуляция токсических веществ (материальная и функциональная). В результате материальной кумуляции яды могут накапливаться, например, в костях, паренхиматозных органах, подкожной клетчатке. Особенно это характерно для тяжелых металлов (ртути, свинца). Под влиянием дополнительных факторов (инфекции, значительных физических нагрузок, злоупотребления алкоголем и др.) возможен выход накопившихся веществ из депо, что приводит к появлению выраженных клинических признаков отравления.

Течение хронических интоксикаций промышленными ядами может быть различным: в ряде случаев прекращение контакта с токсическим веществом и проведение соответствующей терапии приводят к выздоровлению, в других – процесс имеет упорное, а иногда прогрессирующее течение, несмотря на то, что приняты все необходимые меры.

Особенностью профессиональных отравлений является их *групповой характер*, обусловленный сходными условиями труда. Однако степень выраженности отравления зависит не только от токсичности яда, но и от индивидуальной чувствительности организма к его действию. В связи с этим при равных воздействиях выраженность отравления у разных лиц может быть различной.

Некоторые формы хронических профессиональных отравлений чаще квалифицируют как *профессиональные*

болезни. Например, развитие диффузного пневмосклероза, обусловленного вдыханием пылеобразных токсических металлов, сопровождается поражением легких типа пневмокониоза, формирование различных аллергических синдромов у работающих в контакте с промышленными аллергенами сопровождается поражениями, клинически соответствующими бронхиальной астме, экземе и др.

Клинические синдромы, наблюдаемые при профессиональных отравлениях, определяются характером действия вещества. При интоксикациях ядами, преимущественно действующими на органы дыхания, в зависимости от глубины и распространенности поражения могут развиваться различные клинические формы. При воздействии на верхние дыхательные пути возможно изолированное поражение носа, глотки или гортани. Чаще наблюдается картина назофаринголарингита, иногда с некротическими изменениями, особенно в результате воздействия концентрированных паров или разбрызгивания мелких капелек токсических веществ. Тяжелые формы, проявляющиеся ларингоспазмом, наиболее часто обусловлены воздействием концентрированных токсических веществ даже при коротком контакте с ними, иногда после нескольких вдохов.

При отравлении хромовыми и фтористыми соединениями патологический процесс локализуется преимущественно в полости носа и протекает в определенной последовательности: вначале наблюдается воспалительная реакция слизистой оболочки с гиперемией и отеком, затем появляются ее изъязвления: в последующем язвенные поражения становятся более глубокими, захватывают хрящевую часть перегородки носа, сопровождаются ее перфорацией.

Поражение более глубоких отделов дыхательных путей вследствие воздействия токсических веществ проявляется в форме токсического бронхита, токсической пневмонии, а в наиболее тяжелых случаях – токсического отека легких.

При интоксикации ядами нейротропного действия возможно поражение центральной и периферической нервной системы. При острых отравлениях развиваются неврологические симптомы и психические нарушения. При хронических интоксикациях могут наблюдаться как функциональные расстройства по типу вегетативно-сосудистых синдромов, так и более тяжелые, а в ряде случаев необратимые прогрессирующие поражения с вовлечением в процесс центральных и периферических отделов нервной системы (полиневриты, экстрапирамидные расстройства по типу паркинсонизма).

Поражение системы крови характеризуется формированием определенных клинических синдромов (токсической анемии, лейкопении) или сочетанным поражением органов кроветворения. Наблюдается главным образом при хронических интоксикациях, например ароматическими углеводородами (бензолом и его гомологами). Острые интоксикации ядами крови чаще приводят к качественному изменению гемоглобина: образованию метгемоглобина при воздействии амино- и нитросоединений ароматических углеводородов: карбоксигемоглобина при отравлении окисью углерода: к гемолизу эритроцитов при воздействии мышьяковистого водорода, гидразина и др.

Желудочно-кишечный и печеночный синдромы также чаще наблюдаются при хронических отравлениях. К наиболее выраженным расстройствам относится свинцовая колика, обусловленная тяжелой интоксикацией свинцом. При хронических интоксикациях гепатотропными ядами возможно развитие токсического гепатита, который

характеризуется преимущественно доброкачественным течением.

Особую группу профессиональных отравлений составляют дерматозы, которые могут протекать как остро (химические ожоги, аллергические дерматиты, крапивница и др.), так и хронически.

Оказывая первую помощь при острых профессиональных отравлениях, необходимо, прежде всего, удалить пострадавшего из зоны поражения, освободить от загрязненной и стесняющей одежды, при попадании вещества на кожу – остатки его снять ватным тампоном и тщательно обмыть загрязненные участки под струей воды. При проникновении ядов в желудочно-кишечный тракт проводят промывание желудка с использованием адсорбирующих средств (активированного угля, жженой магнезии), назначают рвотные средства.

Последующие лечебные мероприятия направлены на нейтрализацию или выведение ядов из организма, для чего используют соответствующие антидоты и комплексообразующие средства, форсированный диурез. Из средств антидотной терапии наиболее широко используют унитиол (при интоксикациях мышьяком, органическими соединениями металлов, ртутью), суксилеп (при некоторых интоксикациях металлами, например ртутью, свинцом), тиосульфат натрия (при острых отравлениях солями металлов и цианидами). Важную группу антидотов составляют вещества, способные превращать гемоглобин крови в метгемоглобин. К ним относятся амилнитрит, нитрит натрия, метиленовый синий, применяемые при острых отравлениях синильной кислотой и цианидами. При подавляющем большинстве отравлений в связи с признаками гипоксемии легочного,

кровенного, тканевого или циркуляторного характера показана кислородная терапия.

Важным звеном в оказании неотложной помощи являются реанимационные мероприятия, направленные на устранение серьезных нарушений функций дыхательной и сердечно-сосудистой систем. При этом могут быть использованы методы искусственного дыхания, непрямой массаж сердца, средства, стимулирующие дыхательный центр (лобелии, цититон) и регулирующие функцию сердечно-сосудистой системы (кофеин, кордиамин и др.). Пострадавшим необходимо создать максимальный физический и психический покой, тщательно наблюдать за их состоянием.

Сроки временной нетрудоспособности определяются тяжестью перенесенной интоксикации, наличием осложнений и др. В случаях легкой интоксикации или средней степени тяжести при полном регрессе всех симптомов и отсутствии осложнений рабочие могут вернуться к прежней работе при условии динамического врачебного наблюдения и соблюдения гигиенических нормативов. При выраженных, тяжелых формах отравления период временной нетрудоспособности может быть длительным. После выздоровления обязательно прекращение контакта с токсическими веществами путем переквалификации или рационального трудоустройства. Наличие осложнений или неполное восстановление нарушенных функций является показанием к направлению во ВТЭК.

1.7. Факторы, определяющие токсическое действие вредных веществ

Как уже отмечалось выше, «токсичность» – это мера несовместимости вредного вещества с жизнью. Эффект токсического действия вредных веществ зависит от многих

факторов: химического строения и физико-химических свойств, количества попавшего в организм вещества, пола, возраста, индивидуальной чувствительности, состояния окружающей среды (метеорологические условия, шум, вибрация и т.д.).

Химическая структура и физико-химические свойства.
На рис. 1.5 приведена схема взаимосвязи между химической структурой и биологической активностью, предложенная российским токсикологом Н.В. Лазаревым.



Рис. 1.5. Схема взаимосвязи между химическим строением и биологической активностью веществ

Согласно приведенной схеме большое влияние на степень токсичности оказывают физико-химические свойства вредных веществ: агрегатное состояние, летучесть, растворимость. Токсичность твердых и жидких веществ проявляется, в основном, тогда, когда они переходят в пылеобразное или парообразное состояние. Известно, что металлическая ртуть в виде жидкости не токсична, но очень опасна в виде паров. Низкокипящие жидкости (бензол, бензин) значительно более опасны, чем высококипящие (масла, мазут и др.).

Чем больше летучесть (максимально возможное содержание паров вещества в мг, содержащееся в единице объема воздуха – л или м³ при данной температуре), тем большая концентрация вещества образуется в воздухе, увеличивая опасность отравления.

Токсичность твердых веществ зависит от размера их частиц. Тщательно размельченные твердые вещества являются более, токсическими, чем те же вещества, имеющие более крупные частицы.

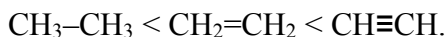
Это объясняется различной растворимостью мелких и крупных частиц вещества, а, следовательно, и неодинаковой скоростью поступления их в кровь. Токсичность химических соединений зависит от растворимости их в жирах и воде.

Токсичность водорастворимых веществ зависит от их диссоциации. Так, хлорид и нитрат бария хорошо диссоциируют в воде и обладают высокой токсичностью, а сульфат бария не растворяется в воде и не оказывает токсического действия на организм. Аналогичные свойства характерны и для некоторых соединений мышьяка. Высокотоксическими являются хорошо диссоциируемые в воде арсениты и арсенаты. Растворимые в воде соли тяжелых металлов также более токсичны, чем их оксиды. Нерастворимый в воде хлорид ртути (I) менее токсический, чем растворимый в воде хлорид ртути (II), а металлическая ртуть, поступившая в пищевой канал, вообще не оказывает токсического действия на организм. Однако под влиянием содержимого желудка определенная часть металлической ртути подвергается химическим превращениям и может растворяться, всасываться и проявлять токсические свойства. Жирорастворимые вещества легко проникают в организм через кожу и легко проникают из крови в клетки через мембраны. Чем больше растворимость вещества в липоидах (жироподобной ткани) по сравнению с растворимостью в воде, тем ярче выражено его нейротропное, наркотическое действие, так как нервная ткань богата липоидами.

Из приведенной выше схемы следует, что существует связь между химической структурой вещества и его

токсическим действием. По правилу Ричардсона, которое применимо к алифатическим углеводородам и спиртам (кроме метилового), сила наркотического действия возрастает с увеличением числа атомов углерода в молекуле. В качестве примеров правила Ричардсона можно указать, что легкие бензины менее токсичны, чем тяжелые; бутиловый, амиловый и другие высшие спирты токсичнее, чем этиловый и пропиловый.

По правилу кратных связей химическая и биологическая активность веществ возрастает с увеличением числа ненасыщенных связей, т.е. с увеличением непредельности. Так, токсичность возрастает в ряду этан, этилен, ацетилен:



По правилу разветвленных цепей токсичность снижается с увеличением разветвленности цепи. Это наблюдается среди углеводородов, являющихся изомерами. Например, изооктан менее токсичен, чем октан.

В ряде случаев токсичность вещества изменяется (возрастает или снижается) с изменением его валентности. Как уже говорилось выше, трехвалентный мышьяк (As_2O_3) токсичнее пятивалентного (As_2O_5). Имеются, однако, и противоположные примеры: более токсичны высшие оксиды хрома и марганца, шестивалентные соединения хрома токсичнее трехвалентных.

Изменение характера действия, а часто и возрастание токсичности отмечают при введении в молекулу атомов галогенов, металльных, амино- и нитрогрупп. Так, введение в молекулу органических соединений хлора или фтора придает им обычно раздражающие свойства и нередко увеличивает токсичность. Введение амино (NH_2)- и нитрозо (NO)- групп превращает соединения в метгемоглибинообразователи, усиливает их нейротропное действие.

Введение же в молекулу гидроксильной группы уменьшает токсичность – спирты менее токсичны, чем соответствующие углеводороды.

Концентрация и продолжительность действия. Токсический эффект в значительной степени определяется количеством поступившего в организм вещества. Для некоторых веществ имеет значение время воздействия. Определенную роль играет непрерывность и прерывистость воздействия.

В отношении многих веществ, поступающих в организм через дыхательные пути, установлено, что сила токсического действия (R) находится в прямой зависимости от концентрации (c) и времени воздействия (t):

$$R = ct. \quad (1.5)$$

Эта закономерность в большинстве случаев отражает зависимость эффекта от дозы, так как чем больше концентрация вещества в воздухе и продолжительнее действие, тем больше вещества поступает в организм.

Для некоторых веществ токсический эффект существенно зависит от фактора времени. К ним относятся вещества раздражающего действия, такие как фосген, сероводород, диоксид серы, ферментные, нарушающие обмен веществ, а также вещества, медленно насыщающие организм, например, ароматические углеводороды. Другую группу составляют вещества, токсический эффект действия которых почти не зависит от времени и определяется, главным образом, концентрацией (например, цианистый водород, многие летучие наркотики и др.).

На производстве, как правило, не бывает постоянных концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны в течение всего рабочего дня. Концентрации вредных веществ могут колебаться от нуля до превышающих предельно допустимые в зависимости от хода технологического процесса. В таких случаях имеет место

интермиттирующее воздействие (от *intermittent* – перемежающийся, прерывистый). Как установлено в отношении многих вредных веществ (окислы азота, окись углерода, углеводороды), интермиттирующее действие дает более выраженный токсический эффект, чем непрерывное, что видимо, связано с нарушением процессов адаптации.

Комбинированное действие вредных веществ. Человек в условиях современного производства часто подвергается комбинированному действию вредных веществ. Комбинированное действие – это одновременное или последовательное действие на организм нескольких вредных веществ при одном и том же пути поступления. Различают несколько видов комбинированного действия.

Аддитивное действие (от англ. *addition* – сложение, дополнение) – суммарный эффект смеси равен 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 веществ используют выражение, предложенное А.Т. Аверьяновым:

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n \leq 1, \quad (1.6)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – концентрации каждого вещества в воздухе, мг/м³; $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ – предельно допустимые концентрации этих веществ, мг/м³.

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводов.

Потенцированное действие (синергизм) – усиление эффекта, действие больше, чем аддитивное (от англ. *potent* – сильнодействующий). Компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Примером

синергизма является действие сероводорода в смеси с углеводородами (характерный состав сероводородсодержащего природного газа). ПДК сероводорода составляет 10 мг/м³, а для сероводорода в смеси с углеводородами C₁–C₅ уменьшена до 3 мг/м³.

Диоксид углерода значительно усиливает токсические свойства ароматических углеводородов, поэтому в производствах, где используются эти вещества, нельзя газировать питьевую воду. Синергизм отмечен при совместном действии сернистого ангидрида и хлора, оксидов углерода и азота (продукты сгорания топлива). Алкоголь усиливает токсическое действие анилина, ртути и других веществ.

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

Независимое действие – компоненты смеси действуют на разные системы, токсические эффекты не связаны друг с другом. 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 возможно комплексное действие вредных веществ, когда вредные вещества поступают в организм одновременно, но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу). В связи с нарастающим загрязнением окружающей среды значение этого воздействия возрастает.

Влияние пола в формировании токсического эффекта не является однозначным. К некоторым веществам более чувствительны женщины, к другим – мужчины. Отмечается большая чувствительность женского организма к действию некоторых органических растворителей, например, бензола. Установлено, что во время беременности опасность отравления повышается и отмечаются более тяжелые его формы. Это является причиной того, что в химической промышленности установлен перечень работ и профессий, к которым не допускаются беременные женщины. Например, производство и упаковка свинцовых красок, производство анилина, производство бензола и нитро- и аминсоединений бензола, производство солей ртути и др. Некоторые вредные вещества, например соединения бора, обладают избирательной токсичностью в отношении гонад (половых органов) мужского организма.

Влияние возраста. Организм подростков в 2–3 раза, а иногда и более чувствителен к воздействию вредных веществ, чем организм взрослых. Именно поэтому законодательство запрещает прием лиц моложе 18 лет в некоторые профессии химического производства. Хотя надо отметить, что проявление токсического действия веществ неодинаково: одни вещества более токсичны для молодых, другие – для старых; токсический эффект третьих не зависит от возраста.

Индивидуальная чувствительность к действию вредных веществ выражена довольно значительно и зависит от особенностей течения биохимических процессов у разных людей. В обезвреживании веществ непосредственное участие принимает большая группа ферментов – так называемые ферменты детоксикации. Активность этих ферментных систем различна у разных лиц. Индивидуальная чувствительность определяется и

состоянием здоровья. Например, лица с заболеваниями крови более чувствительны к действию кроветворных токсичных веществ, с нарушениями со стороны нервной системы – к действию нейротропных веществ, с заболеваниями легких – к действию раздражающих веществ и пыли. Снижению сопротивляемости организма способствуют хронические инфекции, например гепатит.

На чувствительность организма к вредным веществам оказывает влияние и *характер труда*. При тяжелой физической работе усиливаются процессы дыхания и кровообращения, что ведет к ускоренному поступлению вредного вещества в организм.

Состояние окружающей среды. Токсический эффект является результатом взаимодействия вредного вещества, организма человека и факторов внешней среды.

Метеорологические условия среды оказывают влияние на терморегуляцию организма, что в свою очередь влечет за собой изменение восприимчивости организма к вредным веществам. Так, увеличение температуры воздуха ведет к усиленному потоотделению, ускорению многих биохимических процессов и изменению веществ. Учащение дыхания и усиление кровообращения ведут к увеличению поступления вредных веществ в организм через органы дыхания. Расширение сосудов кожи и слизистых оболочек повышает скорость всасывания токсических веществ через кожу и дыхательные пути. Высокая температура увеличивает летучесть многих веществ и повышает их концентрации в воздухе. Усиление токсического действия при повышенных температурах отмечено, например, в отношении таких веществ: паров бензина, оксидов азота, паров ртути, хлорофоса и др.

Влажность воздуха также может увеличивать опасность отравления, в особенности раздражающими газами. Это объясняется усилением процессов гидролиза. Растворение

газов и образование тумана кислот и щелочей ведет к усилению раздражающего действия на слизистую оболочку. Кроме того, эти вещества задерживаются в органах дыхания.

Установлено, что повышенный шум, вибрация в сочетании с неблагоприятными микроклиматическими условиями увеличивают токсическое действие вредных веществ.

1.8. Основные источники вредных веществ

Все источники химического загрязнения, попадающих в производственные помещения, можно разделить на естественные и технические (в т.ч. антропогенные).

Источниками вредных веществ являются преимущественно следующие отрасли промышленности: горнодобывающая, металлургическая, металлообрабатывающая, химическая, газо- и нефтедобывающая и перерабатывающая, а так же сельское хозяйство и транспорт.

1.8.1. Состав и расчет выбросов загрязняющих веществ

Средняя техногенная нагрузка отдельных химических элементов, особенно в районах, подвергающимся различным видам антропогенной человека, значительно возросла и находится в пределах 500–1000 кг/(км² год) для Na, Cl, Ca, Fe; 500–200 кг/(км².год) для S, N, K, Al, P, а для токсичных элементов F, Cu, Zn, Pb, Ni, As, Cd достигает 10–0,1 кг/(км² год).

Основная часть выбросов приходится на машиностроительную отрасль. Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих

заготовительные и кузнечнопрессовые цехи, цехи термической и механической обработки металлов, цехи покрытий и крупное литейное производство. В состав предприятий также входят испытательные станции, ТЭЦ и вспомогательные подразделения. В процессе производства машин и оборудования широко используют сварочные работы, механическую обработку металлов, переработку неметаллических материалов, лакокрасочные операции и т.п. Ниже даны рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ основными цехами машиностроительного производства.

Масса выброса i -го загрязняющего вещества

$$m_i = m_{удi} \Pi k (1 - \eta), \quad (1.7)$$

где $m_{удi}$ – удельное выделение i -го загрязняющего вещества на единицу продукции; Π – расчетная производительность технологического процесса (агрегата и т.п.); k – поправочный коэффициент для учета особенностей технологического процесса; η – эффективность средств очистки выбросов в долях единицы; при отсутствии средств очистки

$$\eta = 0.$$

Наиболее крупными источниками пыле- и газовыделений в атмосферу в литейных цехах являются: вагранки, электродуговые и индукционные печи, участки складирования и переработки шихты и формовочных материалов; участки выбивки и очистки литья.

Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке чугуна в открытых чугунолитейных вагранках и в электродуговых печах производительностью 7 т/ч приведены ниже:

	Пыль	Оксид углерода	Углеводороды	Оксиды азота	Диоксид серы
Открытая вагранка.....	19	200	2,4	0,014	1,5
Электродуговая печь.....	8,1	1,5	–	0,29	–

Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке цветных металлов и сплавов составляют:

	Пыль	Оксиды азота	Диоксид серы	Оксид углерода	Прочие вещества
Индукционные печи.....	1,2	0,7	0,4	0,9	0,2
Электродуговые печи.....	8,1	1,2	0,8	1,1	0,3
Печи сопротивления.....	1,5	0,5	0,7	0,5	0,3
Газомазутные плавильные печи (плавка алюминия)....	2,8	0,6	0,6	1,4	0,18

При работе плавильных агрегатов кроме организованных нужно учитывать неорганизованные выделения, произошедшие вследствие неплотностей технологического оборудования и при выполнении некоторых операций (например, при выпуске расплавленного металла в изложницы). Они составляют в среднем 40 % массы веществ, выделяемых плавильными агрегатами, поэтому для учета количества неорганизованных выбросов в формуле (1.7) принимают $k = 1,4$.

При выпуске 1 т чугуна из вагранок в ковш в атмосферу цеха выделяется 18–22 г графитовой пыли и 125–130 г оксида углерода. При разливе чугуна в формы в атмосферу цеха дополнительно выделяется оксид углерода в количестве:

Масса отливки, т.....	0,1	0,2–0,3	0,5–1	1–2
Удельное выделение оксида углерода, кг/т....	1,05	0,9	0,75	0,7

При литье под действием теплоты жидкого металла из формовочных смесей выделяются бензол, фенол, формальдегид и другие токсичные вещества. Их количество зависит от состава формовочных смесей, массы и способа получения отливки и других факторов.

От участков выбивки отливок на 1 м² площади решетки выделяется до 45–60 кг/ч пыли, 5–6 кг/ч оксида углерода, 3 кг/ч аммиака. Значительными выделениями пыли сопровождаются процессы очистки и обрубки отливок в

дробеметных и дробеструйных камерах, очистных барабанах и на столах.

Много пыли и газов выделяют в атмосферу участки литейных цехов по приготовлению, переработке и использованию шихты и формовочных материалов. Интенсивность выделения вредных веществ (приведено к формальдегиду) при изготовлении стержней из холод, нетвердеющей смеси зависит от состава связующего вещества (газовыделение отнесено к 1 дм^2 площади поверхности стержня):

	При заполнении ящиков смесью, мг/(кг · ч)	При отверждении смеси, мг/($\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$)
Фенолформальдегидные (ОФ-1).....	9,2	1,46
Карбаминоформальдегидные (УКС)...	215	37,8
Карбаминофурановые (БС-40).....	41	5,7
На основе синтетических смол УГТС	61	10,3

В процессах нагрева и обработки металла в кузнечно-прессовых цехах выделяются пыль, оксид углерода, диоксид серы и другие вредные вещества.

Для определения массы выделений вредных веществ от пламенных нагревательных печей целесообразно пользоваться удельными показателями по выбросам, приведенными к единице массы (т) или объема (м^3) сжигаемого топлива (S – содержание серы в исходном топливе, %; A^p – зольность топлива, %)

	Пыль	Оксиды азота	Диоксид серы	Оксид углерода	Углеводороды
Мазут, кг/т.....	$1,2A^p$	12,4	19S	$4,8 \cdot 10^{-3}$	0,381
Природный газ, кг/тыс. м^3	$2,4 \cdot 10^{-3}$	6,24	–	Следы	Следы

Общеобменная вентиляция кузнечно-прессового цеха выбрасывает в атмосферу оксиды углерода и азота, диоксид серы. От пролетов с молотами выбросы оксида углерода на 1 т мазута составляют 7 кг, диоксида серы –

5,2; от пролетов с прессами и ковочными машинами – 3 и 2,2 кг.

Вентиляционный воздух, выбрасываемый из *термических цехов*, обычно загрязнен парами и продуктами горения масла, аммиаком, циановодородом и другими веществами, поступающими в систему местной вытяжной вентиляции от ванн и агрегатов для термической обработки. Источниками загрязнений в термических цехах являются нагревательные печи, работающие на жидком и газообразном топливе, а также дробеструйные и дробеметные камеры. Концентрация пыли в воздухе, удаляемом из дробеструйных и дробеметных камер, где металл очищается после термической обработки, достигает 2–7 г/м³. При закалке и отпуске деталей в масляных ваннах в отводимом от ванн воздухе содержится до 1 % паров масла от массы металла. При цианировании выделяется до 6 г/ч циановодорода на один агрегат цианирования.

В воздухе, удаляемом из *гальванических цехов*, вредные вещества находятся в виде тонкодисперсного тумана, паров и газов. Наиболее интенсивно вредные вещества выделяются в процессах кислотного и щелочного травления.

Масса вредных веществ, выделяющихся при травлении с поверхности зеркала ванны (мг/мин), $m = m_{\text{уд}}S$, где $m_{\text{уд}}$ – интенсивность выделения вредных веществ с единицы площади зеркала ванны, мг/(м² · мин); S – площадь зеркала ванны, м².

Так, при травлении стали 20 в 15 %-м растворе серной кислоты при температуре 70 °С выделяются пары и туман кислоты в количестве до 200, а при травлении стали 10 в 20 %-м растворе соляной кислоты – 26 000 мг/(м² · мин).

При нанесении гальванических покрытий (воронении, фосфатировании, анодировании и т.д.) образуются

различные вредные вещества. Так, при фосфатировании изделий выделяется фтороводород, концентрация которого в отводимом воздухе достигает $1,2\text{--}15 \text{ г/м}^3$. Концентрации кислот, оксидов хрома, циановодорода и др. в удаляемом от гальванических ванн воздухе колеблются в значительных пределах, что требует специальной очистки воздуха перед выбросом в атмосферу. При проведении подготовительных операций в гальванических цехах (механической очистке и обезжиривании поверхностей) выделяются пыль, пары бензина, керосина, трихлорэтилена, туманы щелочей. Анализ дисперсного состава туманов показал, что размер частиц находится в пределах $5\text{--}6 \text{ мкм}$ при травлении, $8\text{--}10 \text{ мкм}$ при хромировании и $5\text{--}8 \text{ мкм}$ при цинковании.

Механическая обработка металлов на станках сопровождается выделением пыли, туманов, масел и эмульсий, которые через вентиляционную систему выбрасываются из помещений. Значительное выделение пыли наблюдается при механической обработке древесины, стеклопластика, графита и других неметаллических материалов. Так, при обработке текстолита выделение пыли составляет (г/ч) на токарных станках – $50\text{--}80$; на фрезерных – $100\text{--}120$; на зубофрезерных – $20\text{--}40$.

При механической обработке полимерных материалов одновременно с пылью могут выделяться пары различных химических веществ и соединений (фенола, формальдегида, стирола и др.), входящих в состав обрабатываемых материалов.

На участках сварки и резки металлов состав и масса выделяющихся вредных веществ зависит от вида и режимов технологического процесса, свойств применяемых сварочных и свариваемых материалов. Наибольшие выделения вредных веществ характерны для

процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами: при расходе 1 кг электродов в процессе сварки стали образуется до 40 г пыли, 2 г фтороводорода, 1,5 г оксидов углерода и азота; при сварке чугунов – до 45 г пыли и 1,9 г фтороводорода. При полуавтоматической и автоматической сварке (в защитной среде и без нее) общая масса выделяемых вредных веществ меньше в 1,5–2 раза, а при сварке под флюсом – в 4–6 раз.

Сварочная пыль на 99 % состоит из частиц размером 10^{-3} –1 мкм, около 1 % – 1–5 мкм, частицы размером более 5 мкм составляют всего десятые доли процента. Химический состав выделяющихся при сварке загрязнений зависит в основном от состава сварочных материалов (проволоки, покрытий, флюсов) и в меньшей степени от состава свариваемых металлов. В состав сварочного аэрозоля входят соединения хрома, марганца, фториды и др. Валовые выделения вредных веществ при сварке находят в расчете на 1 кг расходуемых сварочных материалов.

Газовая и плазменная резка металлов сопровождается выделением пыли и вредных газов. Пыль представляет собой конденсат оксидов металлов, размер частиц которого не превышает 2 мкм. Химический состав пыли определяется главным образом маркой разрезаемого материала. При резке обычно выделяются токсичные соединения хрома и никеля, марганец, вредные газы – оксид углерода и оксиды азота, а при плазменной резке образуется еще и озон.

Для приближенной оценки массы (г) токсичных веществ, входящих в состав пыли и выделяющихся при резке 1 м металла при толщине листа δ , мм, можно использовать следующие соотношения:

Оксиды алюминия при плазменной резке сплавов алюминия.....	1,2 δ
Оксиды титана при газовой резке титановых сплавов.....	3 δ

Оксиды железа при газовой резке легированной стали.....	0,258
Марганец при газовой резке легированной стали Mn/100.....	0,258
Оксиды хрома при резке высоколегированной стали Cr/100.....	0,0658

В вентиляционный воздух на участках пайки и лужения выделяются токсичные газы (оксид углерода, фтороводород), аэрозоли (свинец и его соединения) и т.п. Удельные выделения аэрозоля свинца (размер частиц 0,7–7 мкм) при лужении и пайке оловянно-свинцовыми припоями ПОС-40 и ПОС-61 при пайке электропаяльниками мощностью 20–60 Вт составляют 0,02–0,04 мг/100 паек; при лужении погружением в припой (отнесено к поверхности ванны) – 300–500 мг/(м² · ч); при лужении и пайке волной (отнесено к поверхности волны) – 3000–5000 мг/(м² · ч).

В окрасочных цехах токсичные вещества выделяются при обезжиривании поверхностей органическими растворителями перед окраской, подготовке лакокрасочных материалов, нанесении их на поверхность изделий и сушке покрытия. Воздух, удаляемый вентиляционными отсосами от окрасочных камер, напольных решеток, сушильных установок и других устройств, всегда загрязнен парами растворителей, а при окраске распылением, кроме того, окрасочным аэрозолем. При окраске изделий порошковыми полимерными материалами в вентиляционном воздухе содержится пыль.

Концентрации вредных веществ в вентиляционных выбросах, удаляемых от мест окраски, зависят от состава и расхода лакокрасочных материалов, способа их нанесения на окрашиваемую поверхность, устройства вентиляции, окрасочного оборудования, метода окрашивания. В вентиляционных выбросах окрасочных цехов могут содержаться окрасочный аэрозоль (до 1 г/м³) и пары растворителей (до 10 г/м³).

Масса паров растворителей, выбрасываемых в атмосферу от окрасочного и сушильного оборудования

$$m = m_1 k_1 k_2 k_3 (1 - \eta_p), \quad (1.8)$$

где m_1 – расход лакокрасочных материалов, г/ч; k_1 – доля растворителей в лакокрасочных материалах (при покрытии лаком в лакокрасочных машинах k_1 равен 0,6 и 0,8 соответственно для металлических и деревянных изделий); k_2 – коэффициент, учитывающий количество выделяющегося растворителя из лакокрасочного материала за время окраски и сушки (для камер окраски распылением $k_2 = 0,3$, для сушильных установок 0,7); k_3 – коэффициент, учитывающий поступление паров растворителей в рабочую зону (обычно 2–3 %); $k_3 = 0,975$; η_p – эффективность улавливания паров растворителей в системе очистки вентиляционных выбросов (для гидрофильтров 0,3–0,35).

Масса выбросов аэрозоля от окрасочного оборудования с вентиляционным воздухом в атмосферу

$$m = m_1 k_4 k_5 (1 - \eta_a), \quad (1.9)$$

где k_4 – доля лакокрасочных материалов, расходуемых на образование окрасочного аэрозоля; зависит от способа распыления краски; k_5 – коэффициент, учитывающий поступление окрасочного аэрозоля в рабочую зону; обычно $k_5 = k_3$; η_a – эффективность улавливания окрасочного аэрозоля гидрофильтрами; обычно 0,92–0,98.

Значения k_1 и k_4 для различных способов окраски металлических изделий приведены ниже:

	k_1	k_4
Распыление:		
пневматическое.....	0,4	0,3
безвоздушное.....	0,22	0,25
Электроосаждение.....	0,1	—
Окувание.....	0,35	—
Струйный облив.....	0,25	—

Энергетические установки. Много загрязняющих веществ поступает в атмосферный воздух от энергетических установок, работающих на углеводородном топливе (бензине, керосине, дизельном топливе, мазуте, угле и др.). Количество этих веществ определяется составом, массой сжигаемого топлива и организацией процесса сгорания.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и тепловые электрические станции (ТЭС).

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу при сжигании различных видов топлива в энергоустановках, – нетоксичные диоксид углерода и водяной пар. Однако, кроме них, в атмосферу выбрасываются и вредные вещества, такие как оксид углерода, оксиды серы, азота, соединения свинца, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенный бенз(а)пирен, несгоревшие частицы твердого топлива и т.п.

При сжигании твердого топлива в котлах ТЭС образуется большое количество золы, диоксида серы, оксидов азота. Например, подмосковные угли имеют в своем составе 2,5–6,0 % серы и 30–50 % золы.

Перевод котлов на жидкое топливо (мазут) существенно уменьшает образование золы, но практически не снижает выбросы диоксида серы, так как мазуты, применяемые в качестве топлива, содержат 2 % и более серы. Дымовые газы, образующиеся при сжигании мазута, содержат, кроме того, оксиды азота, газообразные и твердые продукты неполного сгорания. Так же как и при сгорании твердого топлива, отходящие газы содержат соединения тяжелых металлов. При сжигании природного газа в дымовых выбросах содержатся оксиды азота.

Исследования показывают, что вблизи электростанции, выбрасывающей в сутки 280–360 т диоксида серы, максимальные концентрации его с подветренной стороны на расстоянии 200–500, 500–1000 и 1000–2000 м составляют соответственно 0,3–4,9; 0,7–5,5 и 0,22–2,8 мг/м³.

Автомобильный транспорт также является источником загрязнения атмосферы. Так как число автомобилей непрерывно возрастает, особенно в крупных городах, то растет и валовой выброс вредных продуктов в атмосферу. Автотранспорт относится к движущимся источникам загрязнения, широко встречающимся в жилых районах и местах отдыха.

Токсичными выбросами ДВС являются отработавшие и картерные газы, пары топлива из карбюратора и топливного бака. Основная доля токсичных примесей поступает в атмосферу с отработавшими газами ДВС. С картерными газами и парами топлива в атмосферу поступает ~ 45 % углеводородов от их общего выброса.

Исследования состава отработавших газов ДВС показывают, что в них содержится несколько десятков компонентов, основные из которых приведены в табл. 1.4. Диоксид серы образуется в отработавших газах в том случае, когда сера содержится в исходном топливе (дизельное топливо).

Таблица 1.4

Состав отработавших газов ДВС

Компонент	Объемная доля компонента, %		Примечание
	карбюраторные ДВС	дизельные	
Азот	74–77	76–78	Не токсичные
Кислород	0,3–8	2–18	» »
Пары воды	3,0–5,5	0,5–4,0	» »
Диоксид углерода	5,0–12,0	1,0–10,0	» »
Водород	0–5,0	–	» »
Оксид углерода	0,5–12,0	0,01–0,50	Токсичные
Оксиды азота (в пересчете на N ₂ O ₅)	До 0,8	0,0002–0,5	»

Углеводороды	0,2–3,0	0,009–0,5	»
Альдегиды	До 0,2 мг/л	0,001–0,09 мг/л	»
Сажа	До 4 г/м ³	0,01–1,1 г/м ³	»
Бенз(а)пирен	10–20 мкг/м ³	До 10 мкг/м ³	»

Анализ данных, приведенных в табл. 1.4, показывает, что наибольшей токсичностью обладает выхлоп карбюраторных ДВС за счет большого выброса оксида углерода, оксидов азота, углеводородов и др. Дизельные ДВС выбрасывают в больших количествах сажу, которая в чистом виде нетоксична. Однако частицы сажи, обладая высокой адсорбционной способностью, несут на своей поверхности частицы токсичных веществ, в том числе и канцерогенных. Сажа может длительное время находиться во взвешенном состоянии в воздухе, увеличивая время воздействия токсичных веществ на человека.

Состав отработавших газов ДВС зависит от режима работы двигателя. У двигателя, работающего на бензине, при неустановившихся режимах (разгоне, торможении) нарушаются процессы смесеобразования, что способствует повышенному выделению токсичных продуктов. В дизелях с уменьшением нагрузки содержание токсичных компонентов отработавших газов уменьшается, а при работе на режиме максимальной нагрузки возрастает за счет роста выбросов оксида углерода, оксидов азота и углеводородов.

Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от общего технического состояния автомобилей и особенно от двигателя – источника наибольшего загрязнения. Так, при нарушении регулировки карбюратора выбросы оксида углерода увеличиваются в 4–5 раз. Применение этилированного бензина, имеющего в своем составе соединения свинца, вызывает загрязнение атмосферного воздуха весьма токсичными соединениями свинца. Около 70 % свинца, добавленного к бензину с этиловой

жидкостью, попадает в виде соединений в атмосферу с отработавшими газами, из них 30 % оседает на земле сразу за срезом выпускной трубы автомобиля, 40 % остается в атмосфере. Один грузовой автомобиль средней грузоподъемности выделяет 2,5–3 кг свинца в год. Концентрация свинца в воздухе зависит от содержания свинца в бензине:

Концентрация свинца в бензине, г/л	0,15	0,20	0,25	0,50
Концентрация свинца в воздухе, мкг/м	0,40	0,50	0,55	1,00

Исключить поступление высокотоксичных соединений свинца в атмосферу можно заменой этилированного бензина неэтилированным.

С целью защиты атмосферного воздуха разработаны требования для каждого проектируемого и действующего промышленного предприятия, в которых установлены ПДВ вредных веществ в атмосферу при условии, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками (с учетом перспективы их развития) не создадут приземную концентрацию, превышающую ПДК.

1.8.2. Источники токсичных веществ в закрытых помещениях

Исследования, проведенные российскими специалистами в начале 80-х годов XX в., показали, что качество воздушной среды закрытых помещений в целом часто хуже, чем атмосферный городского воздуха, – содержание химических токсичных веществ в зданиях в 1,4–4 раза выше, чем снаружи. Это связано не только с технологическими процессами, но и с находящимися в воздухе многочисленными токсичными соединениями, выделяющимися из ряда строительных материалов, конструкций и изделий. В воздухе помещений могут

присутствовать предельные, непредельные и ароматические углеводороды, галогенопроизводные углеводороды, спирты, фенолы, простые и сложные эфиры, альдегиды, кетоны, гетероциклические соединения аминсоединений (токсический эффект соединений, присутствующих в производственных помещениях, можно посмотреть в прил. 2). Превышают ПДК или находятся на уровне ПДК в помещениях, несвязанных с производством и переработкой вредных веществ, и окись углерода, аммиак. Другие вещества хоть и составили десятые и меньшие доли ПДК, однако в совокупности отрицательно сказываются на здоровье и работоспособности обследуемых.

Для большинства антропоксинов, присутствующих в помещениях, проведены исследования относительно их воздействия на человеческий организм. Так, *сероводород* (H_2S) – бесцветный газ с характерным запахом тухлых яиц – является сильным нервным ядом, который может вызвать смерть от остановки дыхания. Порог ощущения запаха сероводорода от 0,000012 до 0,00003 мг/л. Незначительный, но явно ощутимый запах отмечается при 0,0014–0,0023 мг/л; сильный запах, но для привыкших к нему не тягостный – при 0,003 мг/л; значительный запах – при 0,004; запах, тяготящий даже привыкших к нему, – при 0,007–0,011 мг/л. При более высоких концентрациях – запах менее сильный и неприятный. При 4-часовом вдыхании 0,006 мг/л – головная боль, слезотечение, светобоязнь, насморк, боли в глазах, снижение воздушной и костной звукопроводимости; при концентрации от 0,2 до 0,28 мг/л – жжение в глазах, светобоязнь, слезотечение, полнокровие конъюнктивы, раздражение в носу и зеве, металлический вкус во рту, усталость, головные боли, стеснение в груди, тошнота; воздействие 0,7 мг/л в течение 15–30 мин вызывает болезненное раздражение

конъюнктивы, насморк, тошноту, рвоту, холодный пот, колики, иногда понос, боли при мочеиспускании, одышку, кашель, боли в груди, сердцебиение, головную боль, ощущение сжимания головы, слабость, головокружение, иногда обморочное состояние или возбуждение с помрачением сознания. Более длительное вдыхание может привести к бронхиту или воспалению и отеку легких.

Высокие концентрации паров *бензола* – бесцветного газа – сказываются прежде всего на центральной нервной системе (наркотическое и отчасти судорожное воздействие). Очень высокие концентрации бензола приводят к почти мгновенной потере сознания и смерти человека в течение нескольких минут (такая ситуация может возникнуть на производстве при работе с бензолом). При меньших концентрациях возникают возбуждение, подобное алкогольному, затем сонливость, общая слабость, головокружение, тошнота, рвота, головная боль, потеря сознания.

Толуол как наркотик действует на нервную систему человека сильнее, чем бензол. Высокие его концентрации вызывают раздражение слизистых оболочек, головную боль, головокружение, слабость, раздражительность, отсутствие аппетита. Вызываемые толуолом функциональные расстройства нервной системы чаще соответствуют картине неврастенического синдрома с вегетативной дисфункцией (повышение сухожильных рефлексов, тремор пальцев, стойкий дермографизм, лабильность пульса и артериального давления); реже обнаруживается астенический синдром.

Двуокись азота (NO_2) – бурый газ с удушливым запахом – обладает выраженным раздражающим и прижигающим действием на дыхательные пути, особенно глубокие, что приводит к развитию токсического отека легких; угнетает аэробное и стимулирует анаэробное

окисление в легочной ткани. Не исключена возможность общего действия, в том числе за счет всасывающихся в кровь с поверхности легких продуктов клеточного распада. У людей, работавших при концентрации двуокиси азота 0,0008–0,005 мг/л (3–5 лет), были выявлены воспалительные изменения слизистой оболочки десен, хронические бронхиты, эмфизема легких, пневмосклероз, осложненный астмоидными приступами, бронхоэктазии, тенденция к брадикардии и гипотонии; увеличение содержания гемоглобина и эритроцитов, повышение максимальной осмотической резистентности эритроцитов, гранулоцитоз, ускорение свертывания крови, снижение активности каталазы, содержания сахара и уровня альбуминов и глобулинов в крови.

Содержание в воздухе помещений, где находятся люди, *оксида этилена* оказывает наркотическое действие на человека. На производстве, имеющем дело с окисью этилена, при малых концентрациях этого вещества должна быть предусмотрена работа в противогазе, при больших концентрациях, помимо противогаза, должны применяться специальные костюмы. Защита людей от окиси этилена в жилых помещениях пока не осуществляется, как впрочем, и от других вредных веществ, так как это требует проведения целого комплекса превентивных мероприятий.

Токсичность *метанола* связывают, в том числе с образованием из него в организме *формальдегида* и *муравьиной кислоты*. Специалисты считают, что образующийся в организме формальдегид нарушает окислительное фосфорилирование в сетчатке и, по-видимому, тормозит анаэробный гликолиз, в результате чего возникает недостаток аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Даже временное нарушение синтеза АТФ в клетках сетчатки может привести к потере зрения.

Острое отравление формальдегидом влечет за собой раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей: слезотечение, резь в глазах, першение в горле, насморк, чиханье и кашель, боль и чувство давления в груди, одышку, удушье. Одновременно нарастает общая слабость, потливость, головная боль; иногда возникает головокружение, чувство страха, шаткая походка, судороги, гиперемия кожи лица, слизистых оболочек зева и носа, носовые кровотечения; резкий отек и гиперемия надгортанника, истинных и ложных голосовых связок. В ночное время кашель и одышка усиливаются.

Винилацетат и *бутилацетат* обладают наркотическим и общетоксическим действием, раздражают глаза и верхние дыхательные пути.

Свинец (Pb) – яд, действующий на все живое и вызывающий изменения в нервной системе, крови и сосудах. Активно влияет на синтез белка, энергетический баланс клетки и ее генетический аппарат. Дети более чувствительны к свинцу, чем взрослые. Все соединения свинца действуют в общем сходно. Разница в токсичности объясняется в основном неодинаковой растворимостью их в жидкостях организма, в частности в желудочном соке. Но и трудно растворимые соединения свинца подвергаются в кишечнике изменениям, в результате которых их растворимость и всасываемость сильно повышаются. Свинцовые белила, сульфат и окись свинца токсичнее других соединений свинца. Содержание в воздушной среде свинца обуславливает функциональные расстройства центральной нервной системы, головную боль, головокружение, повышенную утомляемость, раздражительность, нарушение сна, ухудшение памяти. Снижается возбудимость обонятельного, вкусового и зрительного анализаторов, появляются мышечная гипотония, заторможенность дермографизма, потливость,

тенденция к повышению тонуса блуждающих нервов. Свинец вызывает изменение формулы крови, снижение гемоглобина. Нарушение детородной функции проявляется в большом количестве случаев преждевременных родов, выкидышей и внутриутробной смерти плода, что связывается с проникновением свинца в плод; новорожденные дети медленнее растут, у них высока смертность. Особенно опасна интоксикация в первой трети беременности. Описаны случаи бесплодия у мужчин. Поражение щитовидной железы в результате воздействия свинца на организм человека обнаруживается в нарушении процесса накопления йода и снижении секреции тироксина. Изменения в полости рта и желудке проявляются в жалобах на неприятный вкус во рту, плохой аппетит, тошноту, изжогу, отрыжку, кратковременные схваткообразные боли в подложечной области. В полости рта наблюдаются гингивит, пигментация десен и зубов, повышенная заболеваемость кариесом и пародонтозом; последний связывают со снижением активности щелочной фосфатазы в стенках сосудов слизистой оболочки.

Доказано, что *никель, хром* на производствах, связанных с их использованием, провоцируют возникновение и развитие рака (в первую очередь рака легких и носа). На никелевых производствах необходима защита рабочих от контакта с никелем, в том числе с помощью противогазов или респираторов.

Кобальт действует на углеводный обмен, повышает уровень сахара в крови, избирательно повреждая эндокринную часть поджелудочной железы. Кобальт влияет на сердечно-сосудистую систему, расширяет сосуды, снижает кровяное давление. Поражение сердечнососудистой системы и сердечной мышцы объясняют как общим влиянием кобальта на кровяное давление, так и непосредственным – на сосуды. Он

усиливает проницаемость сосудов, не связанную с выделением гистамина.

Для ограничения неблагоприятного воздействия вредных веществ применяют гигиеническое нормирование их содержания в различных средах.

1.9. Гигиеническое нормирование вредных веществ

При современном уровне развития производства требование полного отсутствия содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны является часто нереальным, требующим неоправданно больших материальных затрат. В связи с этим особую значимость приобретает гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и ГН 2.2.5.1313–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

При установлении ПДК вредных веществ руководствуются следующими основными принципами:

– Принцип порогового действия всех типов вредных веществ (в том числе мутагенного и канцерогенного действия). Есть концентрации, при которых нет вредного воздействия на человека, при превышении порога происходит переход количества в качество и начинается вредное действие.

– Принцип приоритета медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов по сравнению с технической достижимостью и экономическими требованиями сегодняшнего дня.

– Принцип опережения токсикологических исследований и установления гигиенических нормативов по сравнению с внедрением вещества в производство.

Гигиеническое нормирование вредных веществ в настоящее время проводится в 3 этапа:

- обоснование ОБУВ (ориентировочного безопасного уровня воздействия);
- обоснование ПДК;
- корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и состояния их здоровья.

1-й этап соответствует периоду лабораторной разработки новых соединений, 2-й – периоду полужаводских испытаний, а 3-й выполняется после внедрения вещества в производство в сроки, установленные в зависимости от токсикологической характеристики вещества и гигиенической характеристики производства.

Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны (ГН 2.2.5.1314–03 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»). Значение ОБУВ определяется путем расчета по параметрам токсиметрии и физико-химическим свойствам или путем интерполяции и экстраполяции в гомологических (близких по строению) рядах соединений. ОБУВ должны пересматриваться через 3 года после их утверждения или заменяться утвержденной в установленном порядке ПДК с учетом накопленных данных о соотношении здоровья работающих с условиями труда.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны является обязательным санитарным нормативом и устанавливается на основании медико-биологических исследований. Обоснование величины ПДК основывается на показателях токсиметрии, установленных в экспериментах на животных. Исходной величиной для установления ПДК

является порог хронического действия Lim_{ch} , в который вводится коэффициент запаса K_s :

$$ПДК = Lim_{ch}/K_s. \quad (1.10)$$

ПДК устанавливают на уровне в 2–3 раза более низком, чем Lim_{ch} . При определении коэффициента запаса учитывают следующее. Коэффициент запаса увеличивается с увеличением абсолютной токсичности и КВИО, с уменьшением зоны острого действия, увеличением зоны хронического действия, при наличии кумулятивных свойств и кожно-резорбтивного действия. При выявлении специфического действия – сенсibiliзирующего, мутагенного, канцерогенного – принимаются наибольшие значения коэффициента запаса (10 и более). Решение в каждом конкретном случае зависит от особенностей действия вредного вещества.

До недавнего времени ПДК химических веществ оценивали как максимальные разовые ПДК_{мр}. Превышение их даже в течение короткого времени запрещалось. В последние годы для веществ, обладающих кумулятивными свойствами (медь, ртуть, свинец и его неорганические соединения, пыль металлической сурьмы, оксид кадмия и др.) для гигиенического контроля введена вторая величина – среднесменная концентрация ПДК_{сс}. Это средняя концентрация, полученная при непрерывном или периодическом отборе проб воздуха при суммарном времени не менее 75 % продолжительности рабочей смены или средневзвешенная концентрация в течение всей смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

Постоянное рабочее место – место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50 % времени или более 2 ч непрерывно).

При отсутствии постоянных рабочих мест среднесменная концентрация определяется как

средневзвешенная величина, вычисленная по концентрациям, определенным на основных стадиях технологического процесса с учетом времени пребывания работающих в этих условиях.

Среднесменная концентрация рассчитывается по формуле:

$$K_{cc} = (K_1t_1 + K_2t_2 + \dots + K_nt_n)/(t_1 + t_2 + \dots + t_n), \quad (1.11)$$

где K_{cc} – среднесменная концентрация; $K_1, K_2 \dots K_n$ – среднеарифметическая величина концентраций химического вещества на отдельных стадиях технологического процесса; $t_1, t_2, \dots t_n$ – продолжительность пребывания рабочих на соответствующих рабочих местах.

Первые ПДК для 40 веществ были установлены в СССР в 1924 г. В настоящее время установлены ПДК более чем для 2300 веществ и ОБУВ 511 веществ (на 01.09.1998 г.). Свои ПДК устанавливают еще только 19 стран мира, в США установлены гигиенические нормативы для 646 веществ, в Германии для 529 веществ. ПДК, установленные в России, являются наиболее низкими. Например, в США установлена величина – пороговый предел – TLV (*threshold limit value*), единицы измерения – ppm (*part per million*). Это концентрация вещества в воздухе, ежедневное воздействие которой не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья у большинства работающих.

Список ПДК вредных веществ непрерывно расширяется, а величины ПДК пересматриваются по мере накопления новых данных в гигиенической науке и практике. Так, например, ПДК бензола в несколько этапов была снижена с 200 до 5 мг/м³, анилина – с 10 до 0,1 мг/м³, ПДК же метана, наоборот, была увеличена с 300 до 7000 мг/м³.

В качестве примера в табл. 1.5 приведены ПДК некоторых веществ в воздухе рабочей зоны.

Значения ПДК приведены по состоянию на 15.06.2003. Если в графе «Величина ПДК» приведены две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК.

Условные обозначения: п – пары и (или) газы; а – аэрозоль; п + а – смесь паров и аэрозоля; + – требуется специальная защита кожи и глаз; О – вещество с остронаправленным механизмом действия, опасное для развития острых отравлений, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; А – вещества, способные вызвать аллергические заболевания, К – канцерогены, Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. ПДК веществ, отмеченных символом Ф, являются среднесменными.

Для веществ, обладающих кожно-резорбтивным действием (бензол, толуол, нитробензол, метанол и др.) устанавливается предельно допустимый уровень (ПДУ) загрязнения кожи ($\text{мг}/\text{см}^3$) в соответствии с ГН 2.2.5.563–96 «Предельно-допустимые уровни (ПДУ) загрязнения кожных покровов вредными веществами» (табл. 1.6.).

Таблица 1.5

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ГН 2.2.5.1313–03)

№ по ГН	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, $\text{мг}/\text{м}^3$	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
4	Азота диоксид	NO_2	2	п	3	О
5	Азота оксиды (в пересчете на NO_2)		5	п	3	О
7	Азотная кислота +	HNO_3	2	а	3	
238	Бенз(а)пирен	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	–/0,00015	а	1	К

252	Бензин (растворитель, топливный)		300/100	п	4	
264	Бензол +	C ₆ H ₆	15/5	п	2	К
477	Гексан	C ₆ H ₁₄	900/300	п	4	
684	Дигидросульфид	H ₂ S	10	п	2	О
685	Дигидросульфид смесь с углеводородами C ₁ –C ₅		3	п	2	О
999	Железо	Fe	-/10	а	4	Ф
1195	Медь	Cu	1/0,5	а	2	
1210	Метан	CH ₄	7000	п	4	
1211	Метанол +	CH ₄ O	15/5	п	3	
1449	Моющее синтетическое средство «Лоск»		3	а	3	А
1454	Мышьяк, неорганические соединения (мышьяк более 40%) (по мышьяку)		0,04/0,01	а	1	К
1503	Нефть сырая +		10	а	3	
1504	Никель тетракарбонил	C ₄ NiO ₄	0,0005	п	1	О, К, А
1555	Озон	O ₃	0,1	п	1	О
1723	Пропан-2-он (ацетон)	C ₃ H ₆ O	800/200	п	4	
1723	Ртуть	Hg	0,01/0,005	а	1	
1790	Сера	S	-/6	а	4	Ф
1793	Сера диоксид +	SO ₂	10	п	3	
1801	Серная кислота +	H ₂ SO ₄	1	а	2	
1836	Табак		3	а	3	А
1910	Тетраэтилсвинец +	C ₈ H ₂₀ Pb	0,005	п	1	О
2057	Углерода оксид	CO	20	п	4	О
2143	Хлор +	Cl ₂	1	п	2	О
2311	Этанол	C ₂ H ₆ O	2000/1000	п	4	

Таблица 1.6

Предельно допустимые уровни загрязнения кожи рук работающих с вредными веществами по ГН 2.2.5.563– 96 (извлечение)

Наименование вещества	ПДУ, мг/см ²	Наименование вещества	ПДУ, мг/см ²
Бензол	0,05	Метилтестостерон	0,0003
Жирные спирты фракции C5–C10 (амиловый, гексилый, гептиловый,	0,02	Металлическая сурьма	0,001 (по сурьме)
		Нитрил акриловой	0,001

окстиловый, нониловый, дециловый)		кислоты	
Ксилидин	0,08	Нитробензол	2,4
Ксилол	1,75	Толуол	0,05
Метиловый спирт (метанол)	0,02	Хлорбензол	0,8

1.10. Производственная пыль

Приведенные выше классификации вредных веществ по характеру воздействия не учитывают большой группы веществ аэрозолей (пыли), не обладающих выраженной токсичностью. Для этих веществ характерен фиброгенный эффект действие на организм. Рассмотрим подробнее этот наиболее распространенный вредный производственный фактор.

Производственной пылью называют взвешенные в воздухе, медленно оседающие твердые частицы размерами от нескольких десятков до долей мкм. Пыль представляет собой аэрозоль, т.е. дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой – воздух.

Пыль – это физическое состояние твердого вещества. Специфической особенностью пылевидного состояния является раздробленность вещества на мельчайшие частицы и, следовательно, чрезвычайно большая поверхность твердых частиц, в связи, с чем свойства пыли приобретают самостоятельное значение.

Измельчение 1 см³ твердого тела до частиц размером 0,1 мкм увеличивают его общую поверхность с 6 см² до 600 000 см², т.е. в 100 тысяч раз.

1.10.1. Классификация производственной пыли

Классификация производственной пыли приведена на рис. 1.6. По происхождению пыль разделяют на органическую, неорганическую и смешанную.

Органическая пыль может быть естественной, животного или растительного происхождения растительного происхождения (древесная, хлопковая, льняная, костяная, шерстяная и др.) и искусственной – пыль пластмасс, резины, смол, красителей и других синтетических веществ.



Рис. 1.6. Классификация пыли

Неорганическая пыль может быть минеральной (кварцевая, силикатная, асбестовая, цементная, наждачная, фарфоровая и др.) и металлической (цинковая, железная, медная, свинцовая, марганцевая). В условиях производства особенно распространена пыль смешанного состава, состоящая из минеральных и металлических частиц (например, смесь пыли железа и кремния), органическая и неорганическая (например, пыль злаков и почвы).

В зависимости от способа образования различают аэрозоли дезинтеграции и аэрозоли конденсации. Аэрозоли дезинтеграции образуются при механическом измельчении, дроблении и разрушении твердых веществ (бурение, дробление, размол и др.), при механической

обработке изделий (шлифовка, полировка и др.). Аэрозоли конденсации образуются при термических процессах возгонки твердых веществ (плавление, электросварка и др.) вследствие охлаждения и конденсации паров металлов и неметаллов. Типичным примером образования аэрозоля конденсации из перенасыщенных паров является так называемый сварочный аэрозоль. Металл, входящий в состав стержня сварочного электрода, а также компоненты обмазки электрода и флюса в значительной мере испаряются при температуре электрической дуги, а попав в более холодную зону, конденсируются в виде мельчайших частиц окислов железа и других элементов.

Нередко встречаются аэрозоли, дисперсная фаза которых содержит частицы, образующиеся как при измельчении, так и конденсации паров (шлифовально-полировальные, заточные работы и др.).

В зависимости от размера частиц (дисперсности) различают видимую пыль размером более 10 мкм (быстро выпадающую из воздуха) микроскопическую – размером от 0,25 до 10 мкм (медленно выпадающую из воздуха), ультрамикроскопическую – менее 0,25 мкм (длительно витающую в воздухе по законам броуновского движения). Производственная пыль, как правило, полидисперсна, т.е. в воздухе встречаются одновременно пылевые частицы различных размеров. В любом образце пыли обычно число мелких частиц больше, чем крупных. В большинстве случаев до 60–80 % частиц пыли имеют диаметр до 2 мкм, 10–20 % – от 2 до 5 мкм и до 10 % – свыше 10 мкм. Однако общий вес пылевых частиц от 2 мкм весьма незначителен и обычно не превышает 1–3 % веса всего образца пыли.

1.10.2. Физико-химические свойства пыли

Пыль характеризуется совокупностью свойств, определяющих поведение ее в воздухе, превращение и действие на организм человека. Из различных свойств пыли наибольшее значение имеют химический состав, растворимость, дисперсность, взрывоопасность, форма частиц, электростатическая зарядность, адсорбционные свойства.

Химический состав пыли. В зависимости от состава пыль может оказывать на организм фиброгенное, раздражающее, токсическое, аллергическое действие.

Пыль некоторых веществ и материалов (стекловолокна, слюды и др.) оказывает раздражающее действие на верхние дыхательные пути, слизистую оболочку глаз, кожи.

Пыли токсичных веществ (свинца, хрома, бериллия и др.), попадая через легкие в организм человека, оказывают характерное для них токсическое действие в зависимости от их физико-химических и химических свойств.

Фиброгенным называется такое действие пыли, при котором в легких происходит разрастание соединительной ткани, нарушающее нормальное строение и функции органа.

Очень высокой фиброгенной активностью обладает диоксид кремния или кремнезем. «Как углерод составляет главную и чрезвычайно существенную часть животных и растительных веществ, так кремний составляет существенную часть земных, в особенности горных образований» (Д.И. Менделеев). После кислорода кремний является наиболее распространенным элементом на земле. Он составляет 27,6 % массы земной коры, которая в значительной степени построена из различных его соединений, главным образом кремнезема и силикатов (солей кремневой кислоты).

Растворимость пыли, зависящая от ее химического состава, может иметь как положительное, так и

отрицательное гигиеническое значение. Если пыль не токсична, как, например, сахарная, то хорошая растворимость такой пыли благоприятный фактор, который способствует быстрому удалению ее из легких. В случае токсичной пыли (никеля, бериллия) хорошая растворимость сказывается отрицательно, так как в этом случае токсичные вещества попадают в кровь и приводят к быстрому развитию явлений отравления.

Нерастворимая, в частности, волокнистая пыль надолго задерживается слизистой оболочкой дыхательных путей, нередко приводя к патологическому состоянию.

Дисперсность пыли. Дисперсность производственной пыли имеет большое гигиеническое значение, так как от размера пылевых частиц зависит длительность пребывания пыли в воздухе и характер воздействия на органы дыхания. В легкие при дыхании проникает пыль размером от 0,2 до 5 мкм. Более крупные пылинки задерживаются слизистой оболочкой верхних дыхательных путей, а более мелкие – выдыхаются. Дисперсность частиц имеет значение не только для элиминации пыли из легких. От величины частиц зависит степень фиброгенного действия пыли. С повышением дисперсности степень биологической агрессивности пыли увеличивается до определенного предела, а затем уменьшается. Наибольшей фиброгенной активностью обладают аэрозоли дезинтеграции с размером пылинок от 1–2 до 5 мкм и аэрозоли конденсации с частицами менее 0,3–0,4 мкм.

Уменьшение фиброгенности аэрозоля конденсации диоксида кремния с размером частиц 0,05 мкм и менее объясняется тем, что скорость выведения его из легких опережает темпы проявления токсичности.

Взрывоопасность является важным свойством некоторых пылей. Пылевые частицы, сорбируя кислород воздуха, становятся легко воспламеняющимися при

наличии источников зажигания. Известны взрывы каменноугольной, сахарной, мучной пыли. Способностью взрываться и воспламеняться при наличии источника зажигания обладают также крахмальная, сажевая, алюминиевая, цинковая и некоторые другие виды пылей.

Для различных пылей взрывоопасная концентрация вещества неодинакова. Для пыли крахмальной, алюминиевой и серной минимальной взрывоопасной концентрацией является 7 г/м^3 воздуха, для сахарной – $10,3 \text{ г/м}^3$.

Кроме того значительные концентрации пыли в воздухе снижают видимость вследствие поглощения светового потока плотными частицами и рассеяния света.

Форма пылинок влияет на устойчивость аэрозоля в воздухе и поведение в организме. Форма пылевых частиц, образующихся в производственных условиях, может быть различной: сферической, плоской, волокнистой, оскольчатой, игольчатой и др.

При образовании аэрозолей конденсации пылинки большей частью имеют округлую форму, а в составе аэрозолей дезинтеграции – неправильную многоугольную, плоскую форму. Частицы сферической формы быстрее выпадают из воздуха, но и легче проникают в легочную ткань. Пылевые частицы слюды, имеющие пластинчатую форму, и пыль стекловолокна, имеющая игольчатую форму, могут длительно витать в воздухе, даже если размер их равен 50 мкм и более. Нитевидные частицы асбеста, хлопка, пеньки и др. практически не оседают из воздуха, даже если длина их превышает сотни и тысячи микрон. Пылинки стекловолокна, асбеста и других, имеющих острые края, попадая на слизистые оболочки верхних дыхательных путей, глаз и кожу, могут оказывать травмирующее и раздражающее действие.

Электрoзаряженнoсть пылевых частиц влияет на устойчивость аэрозоля и его биологическую активность. В момент образования пыли (бурение, дробление, измельчение твердых веществ) большинство частиц (85–95 %) приобретает электрический заряд обоих знаков – положительный и отрицательный. Часть пыли заряжается за счет адсорбции ионов из воздуха, а также в результате трения частиц в пылевом потоке. Величина наведенных зарядов различна и зависит от размеров, условий образования и массы частиц. Установлено, что крупные пылинки несут большой заряд. Наличие разноименно заряженных частиц пыли приводит к укрупнению и выпадению частиц пыли из воздуха. Установлено, что пылинки, несущие электрический заряд, несколько дольше задерживаются в организме. Аэрозоли дезинтеграции имеют большую величину заряда, чем аэрозоли конденсации.

Адсорбционные свойства пыли находятся в зависимости от дисперсности и суммарной поверхности. Чем меньше раздроблено вещество, тем больше его суммарная поверхность и адсорбционная активность.

Пыль может быть носителем микробов, грибов, клещей. Описаны легочные формы сибирской язвы у рабочих, вдыхающих пыль шерсти.

1.10.3. Особенности действия пыли на организм человека

Профессиональные заболевания под действием пыли относятся к числу наиболее тяжелых и распространенных во всем мире профессиональных заболеваний. Основными пылевыми профессиональными заболеваниями являются пневмокониозы, хронический бронхит и заболевания верхних дыхательных путей.

Пневмокониоз (легочный пылевой фиброз) – хроническое профессиональное заболевание легких, характеризующееся развитием фиброзных изменений в результате длительного ингаляционного воздействия фиброгенных производственных аэрозолей.

Пневмокониозы подразделяются на следующие виды:

Силикоз, обусловленный вдыханием кварцевой пыли, содержащей свободный диоксид кремния – SiO_2 . Действие кварцсодержащей пыли на организм связано с добычей полезных ископаемых, поскольку около 60 % всех горных пород состоит из кремнезема.

Силикатоз, возникающий от вдыхания пыли силикатов – солей кремневой кислоты (асбестоз, талькоз, каолиноз и т.д.).

Карбокониоз, обусловленный воздействием углеродсодержащих видов пыли – каменного угля, кокса, сажи, графита.

Металлокониозы – пневмокониозы от воздействия пыли металлов и их оксидов: железа, алюминия и др. (siderоз, алюминоз).

Пневмокониозы от смешанной пыли: а) со значительным – более 10 % содержанием свободного диоксида кремния; б) не имеющей в составе свободного диоксида кремния или с содержанием его до 10 %.

Пневмокониозы от органической пыли: растительного (биссиноз от пыли хлопка и льна), животного и синтетического происхождения (пыль пластмасс).

Силикоз – наиболее частая форма пневмокониоза. Развивается обычно у работающих в условиях высокой запыленности, нередко при выполнении тяжелого физического труда при стаже 5 лет и более. Силикоз известен с давних пор как профессиональное заболевание горняков («чахотка горнорабочих»). Наиболее распространен среди шахтеров угольных шахт, встречается

также у рабочих горнорудной промышленности, особенно у бурильщиков, крепильщиков. Силикоз – общее заболевание организма, которое сопровождается нарушением функции дыхания (одышка, кашель, боли в груди), развитием хронического бронхита, изменением обменных процессов, нарушением деятельности центральной и вегетативной нервной системы. Наиболее частое осложнение – туберкулез. Характерным для силикоза является его прогрессирование даже после прекращения контакта с пылью.

Силикатозы. Заболевания органов дыхания под действием пыли, содержащей двуокись кремния в связанном с другими элементами (Mg, Ca, Al, Fe) состоянии. К силикатам относят многие минералы: асбест, тальк, каолин и др.; искусственные соединения: слюда, цемент, стекловолокно и др. Пыль, вызывающая силикатозы, встречается во многих производствах, например, при добыче, обработке, разрыхлении, смешении, транспортировке ископаемых, производстве резины, цемента и др.

Силикатозы развиваются в более поздние сроки и менее склонны к прогрессированию и осложнению, чем силикозы. Действие силикатной пыли слабее, чем кварца. Наиболее агрессивна пыль силиката магния – асбеста – волокнистого минерала, вызывающего асбестоз. Активность пыли асбеста объясняется как механическим повреждением тканей пылевыми частицами с острыми иглоподобными краями, так и химическим действием. Нередко асбестоз осложняется хронической пневмонией, туберкулезом, раком легких.

К силикатозам относится также *талькоз*, который развивается у рабочих текстильной, резиновой, бумажной, парфюмерной, керамической и других отраслей промышленности, контактирующих с тальком 15–20 лет.

Течение талькоза доброкачественное. Талькоз нередко осложняется хроническими бронхитами.

При высокой запыленности воздуха в шахтах у рабочих может развиваться в результате вдыхания угольной пыли – *антракоз*. Течение его по сравнению с силикозом более благоприятное. Вдыхание смешанной пыли угля и породы, содержащей свободный диоксид кремния, вызывает *антракосиликоз* – более тяжелую по сравнению с антракозом форму пневмокониоза.

Металлокониозы характеризуются относительно медленным развитием и отсутствием тенденции к прогрессированию легочного фиброза. Наиболее распространены сидероз и алюминоз. Сидероз встречается, главным образом, у рабочих доменных печей, алюминоз – у рабочих электролизных цехов по получению алюминия из бокситов и работающих с порошкообразным алюминием.

Биссиноз («биссос» – текстильное волокно) – профессиональное заболевание у рабочих хлопкоочистительных и хлопкопрядильных фабрик, льнокомбинатов, развивающееся в результате длительного воздействия пыли хлопка, льна, конопли. Пыль, образующаяся при производственных операциях с грубым, низкосортным сырьем, может быть загрязнена бактериями и грибами. Основные жалобы работающих – стеснение в груди, затруднение дыхания, одышка при физическом напряжении, кашель, слабость. Вначале эти симптомы отмечаются только после перерыва – «симптом понедельника», а в дальнейшем они становятся постоянными, осложняясь стойкими нарушениями бронхолегочного аппарата и сердечной недостаточностью. Пневмокониозы, вызванные действием органических пылей (биссиноз и др.), встречаются относительно редко.

К пневмокониозам от смешанных пылей относится электросварочный пневмокониоз, пневмокониоз газорезчиков, сталеваров. Электросварочный пневмокониоз развивается у электросварщиков при длительном выполнении работ в плохо вентилируемых помещениях, когда создается высокая концентрация сварочного аэрозоля, содержащего оксид железа, соединения марганца или фтора. Работающие жалуются на одышку при значительном физическом напряжении и сухой кашель. В целом течение пневмокониоза благоприятное.

Бериллиоз – профессиональное заболевание, развивающееся от вдыхания пыли бериллия и его соединений, отличающихся особой агрессивностью. Бериллий входит в состав некоторых минералов, из которых наиболее распространен берилл или алюмосиликат бериллия – $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$. Некоторые разновидности берилла, окрашенные примесями в различные цвета, относятся к драгоценным камням. Таковы, например, зеленые изумруды, голубовато-зеленые аквамарины. Благодаря ценным качествам бериллий широко используется в промышленности: машиностроении, реакторостроении, при производстве электронной аппаратуры, радиоламп, рентгеновских трубок и т.д. За особые технические качества бериллий получил название «чудо-металл», а за коварную токсичность в ряде работ его называют «чертов металл». Объем потребляемого в промышленном производстве бериллия во всем мире постоянно увеличивается, соответственно увеличивается число лиц, подвергающихся в производственных условиях воздействию бериллия. Бериллий и его соединения обладают многообразным действием на организм человека: общетоксическим, раздражающим, аллергическим, канцерогенным. Первые проявления

интоксикации могут наступать в различные сроки контакта – от нескольких дней до 10 лет и более. Иногда для развития заболевания достаточно очень короткого, даже случайного (не более 20 минут) контакта, например, при сборе металлолома. Тяжелые случаи заболевания, нередко со смертельным исходом, встречаются у живущих в непосредственной близости (на расстоянии 1–2 км) от бериллиевого производства и по роду работы не соприкасающихся с соединениями бериллия.

Во всех случаях развития пневмокониозов степень выраженности фиброзного процесса зависит от строения и состава действующей пыли.

Производственная пыль может быть причиной возникновения не только заболеваний дыхательных путей, но и заболеваний глаз (конъюнктивиты) и кожи (шелушение, огрубление, экземы, дерматиты).

1.10.4. Гигиеническое нормирование содержания аэрозолей в воздухе рабочей зоны

При гигиеническом нормировании содержания аэрозолей в воздухе рабочей зоны учитываются нормативные документы, регламентирующие содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны, указанные в п.1.8. Но существуют и свои особенности. Так, например, для аэрозолей, способных вызвать выраженный пневмокониоз, ПДК не превышает 1–2 мг/м³; для аэрозолей, оказывающих фиброгенное действие средней выраженности, – 4–6 мг/м³, для аэрозолей с незначительной фиброгенностью – 8–10 мг/м³. Уровень допустимого содержания пыли с выраженным токсическим действием для большинства веществ значительно меньше 1 мг/м³. В настоящее время

установлены ПДК более чем для 100 видов пыли, оказывающих фиброгенное действие.

1.11. Защита от вредных веществ на производстве

Задачей защиты является удаление веществ из зоны их образования; минимизация их попадания в воздух, воду, пищу; очистку загрязненного воздуха или воды от них перед попаданием в воздух рабочей зоны, территории предприятия, биосферу.

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, а также выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий, направленных на защиту работающих.

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

– замену более токсичных веществ менее токсичными. Например, свинцовые белила заменены цинковыми; бензол как наиболее опасный растворитель в ряде производств заменен толуолом, метиловый спирт в производстве жирных кислот заменен на бутиловый и т.д.;

– применение прогрессивной технологии производства (замкнутый цикл, автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, непрерывность процессов производства, автоматический контроль процессов и операций), исключающей контакт человека с вредными веществами. Например, современные технологические процессы в химической, нефтехимической, нефтяной, газовой и других отраслях промышленности, как правило, полностью

автоматизированы, управление технологическими процессами осуществляется дистанционно из операторных, расположенных на расстоянии от технологического оборудования, что защищает человека от воздействия вредных веществ;

- выбор соответствующего производственного оборудования и коммуникаций, не допускающих выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации при нормальном ведении технологического процесса;

- очистку технологических выбросов с целью улавливания, рекуперации и нейтрализации вредных веществ, содержащихся в отходящих газах, промывочных и сточных водах;

- наличие рабочей и аварийной вентиляции, средств дегазации, активных и пассивных средств взрывозащиты и взрывоподавления;

- рациональную планировку промышленных площадок и зданий;

- контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК. Периодичность контроля для веществ 1 класса – не реже 1 раза в 10 дней, 2 класса – не реже 1 раза в месяц, 3 и 4 классов – не реже 1 раза в квартал;

- включение токсикологических характеристик вредных веществ в технологические регламенты, стандарты на сырье, продукты и материалы;

- применение средств индивидуальной защиты. Для защиты работающих от действия вредных веществ (особенно при проведении плановых ремонтных работ и в

аварийных ситуациях) основное значение имеют средства индивидуальной защиты органов дыхания – фильтрующие и изолирующие противогазы, спецодежда, спецобувь, защитные перчатки и специальные дерматологические средства – пасты и мази (прил. 3);

- специальную подготовку и инструктаж персонала, в том числе по оказанию неотложной доврачебной помощи пострадавшим при отравлении;

- проведение предварительных (профессиональный отбор) и периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами. Цель предварительного осмотра – не допустить к работе лиц с такими заболеваниями, которые могут обостриться при поступлении в организм даже небольших количеств токсичных веществ, а также тех, которые могут способствовать более быстрому развитию отравления (например, заболевания крови при работе с бензолом, заболевания нервной системы при работе с марганцем и т.д.). После поступления на работу, связанную с возможностью отравлений, работающие периодически, как правило, один раз в год, проходят диспансеризацию с целью выявления наиболее ранних признаков интоксикации и своевременного прекращения работы с вредными веществами;

- разработку медицинских противопоказаний для работы с конкретными вредными веществами. На ряд производств, где вредные вещества действуют на специфические функции организма, не допускаются женщины и подростки, например, алкилирование бензола пропиленом (бензол влияет на репродуктивную функцию).

Остановимся подробнее на производственной вентиляции и основных методах и средствах очистки воздуха от вредных веществ.

1.11.1. Производственная вентиляция

Одним из способов обеспечения чистоты воздуха в производственных помещениях является вентиляция.

Система вентиляции представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих воздухообмен в помещении, т.е. удаление из помещения загрязненного, нагретого, влажного воздуха и подача в помещение свежего, чистого воздуха. Системы вентиляции разнообразны, и их классификация представлена на рис. 1.7.

По зоне действия вентиляция бывает *общеобменная*, при которой воздухообмен охватывает все помещение, и *местная*, при которой обмен воздухом осуществляется на ограниченном участке помещения. По способу перемещения воздуха из помещения и в помещение вентиляция разделяется на *естественную* и *механическую*.

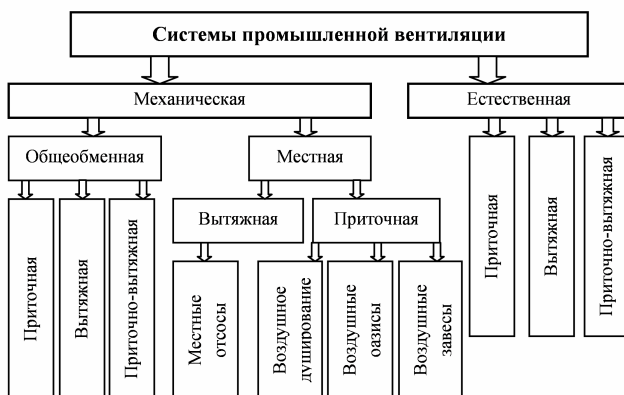


Рис. 1.7. Классификация вентиляционных систем

При естественной вентиляции воздухообмен осуществляется благодаря возникающей разнице давлений снаружи и внутри здания. Разность давлений обусловлена прежде всего тепловым напором, возникающим из-за того,

что более теплый воздух в помещении имеет меньшую плотность, чем более холодный воздух снаружи помещения. В результате более теплый воздух помещения поднимается вверх и удаляется из помещения через вытяжные трубы, а его место занимает свежий, более прохладный и чистый воздух, поступающий в помещение через окна, двери, форточки, фрамуги, щели.

$$\Delta P_T = gh(\rho_h - \rho_{вн}) , \quad (1.12)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; h – расстояние между центрами приточного и вытяжного отверстий, м ; ρ_h и $\rho_{вн}$ – плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3 .

Как видно из формулы, если снаружи помещения воздух более теплый, чем в помещении, удаления воздуха из помещения за счет теплового напора происходить не будет. Удаление воздуха в этом случае будет происходить за счет ветрового напора, возникающего в результате обдувания здания, в частности торца вытяжной трубы, расположенной, как правило, на крыше здания. Значение ветрового напора можно определить по формуле

$$\Delta P_v = k_T (v_v^2 / 2) \rho_n , \quad (1.13)$$

где v_v – скорость ветра, м ; k_T – коэффициент, определяемый формой трубы.

Организованная общеобменная вентиляция, при которой в помещение подается и из помещения удаляется заданное количество воздуха, называется *аэрацией*. Регулирование необходимого количества воздуха, подаваемого и удаляемого, обеспечивается необходимой площадью открытых окон, фрамуг и т.д. Аэрация помещения может быть рассчитана по специальной методике.

Для того чтобы увеличить коэффициент k , и тем самым улучшить естественную вентиляцию, на конце вытяжной трубы часто устанавливается специальное устройство, называемое дефлектором. Схема дефлектора показана на

рис. 1.8. Он представляет собой цилиндрический патрубок, расположенный на конце трубы. При обтекании этого патрубка на его торцах создается разрежение и улучшается естественная тяга за счет ветрового напора. Дефлекторы можно увидеть на крышах многих зданий как промышленных, так и жилых.

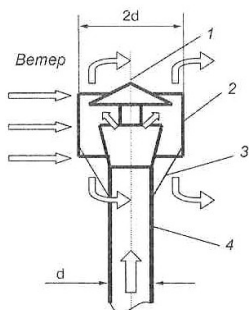


Рис. 1.8. Схема дефлектора:
 1 – козырек защиты от осадков;
 2 – цилиндрический патрубок;
 3 – крепление патрубка;
 4 – вентиляционная труба

Для ориентировочного подбора дефлекторов определяют диаметр вентиляционной трубы по формуле

$$d = 0,0188\sqrt{L/v_v} \text{ , М ,} \quad (1.14)$$

где L – необходимая производительность вентиляции, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 v_v – принимается равной половине средней скорости ветра в наиболее жаркий месяц (например, для Москвы средняя скорость ветра равна 3,4 м/с, поэтому $v_v = 1,7$ м/с).

Таким образом, эффективность естественной вентиляции зависит от разницы температур снаружи и внутри помещения (разницей температур определяется разницей плотностей воздуха), высоты расположения вытяжных отверстий и скорости ветра снаружи помещения. Достоинством естественной вентиляции является отсутствие затрат энергии на передвижение масс воздуха в помещение и из него. Однако естественная вентиляция имеет очень существенный недостаток, а именно: в теплый период года и в безветренную погоду ее

эффективность может существенно падать, так как вследствие повышения температуры наружного воздуха падает тепловой напор (или отсутствует вовсе), а при отсутствии ветра ($u_{ш} = 0$) отсутствует ветровой напор. Кроме того, при естественной вентиляции воздух, поступающий в помещение, и воздух, удаляемый из помещения, не проходит очистку и предварительную подготовку. Если воздух окружающей среды загрязнен, например, запылен, то он поступает в помещение также загрязненным. Если в помещении в результате каких-либо технологических процессов выделяются вредные вещества, то они выбрасываются без их улавливания в окружающую среду с удаляемым из помещения воздухом. В результате загрязняется окружающая среда.

Механическая вентиляция лишена недостатков естественной вентиляции. *Механической* называется вентиляция, в которой воздух подается в помещения и (или) удаляется из них по системам вентиляционных каналов с использованием специальных механических побудителей – вентиляторов. Механическая вентиляция может быть *приточной*, при которой воздух вентилятором подается в помещение; *вытяжной*, при которой воздух удаляется из помещения, и *приточно-вытяжной*, при которой свежий воздух подается в помещение, а загрязненный воздух удаляется из помещения.

Если воздух снаружи помещения слишком загрязнен (по нормативным требованиям концентрация вредного вещества в приточном воздухе не должна превышать 30 % от ПДК), а в помещении в результате проведения работ в воздух выделяются вредные вещества, то в приточную или вытяжную систему встраиваются *очистные устройства*. В приточную систему устанавливаются, как правило, тканевые или волокнистые фильтры, а в вытяжную могут устанавливаться разнообразные очистные устройства в

зависимости от вида образующихся в помещении загрязняющих воздух веществ.

Механическая вентиляция бывает общеобменной и местной.

Общеобменная вентиляция предназначена для создания и поддержания необходимых параметров воздушной среды во всем объеме рабочей зоны помещений.

Производственные помещения, как правило, имеют одновременно и естественную и механическую вентиляцию, т.е. *комбинированную (естественно-механическую)* вентиляцию.

Таким образом, естественная вентиляция является общеобменной, а механическая вентиляция может быть общеобменной и местной. Может применяться также одновременно общеобменная и местная вентиляция.

Расчет производительности Q общеобменной вентиляции, необходимой для обеспечения требуемого качества воздуха рабочей зоны по содержанию вредных веществ, может быть выполнен с использованием следующего соотношения:

$$Q_{\text{пр}}C_{\text{пр}} + Z_T = Q_{\text{выт.}}C_{\text{выт.}}, \quad (1.15)$$

где ($Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{выт.}}$ – соответственно производительность приточной и вытяжной вентиляции, $\text{м}^3/\text{ч}$, Z_T – масса выделяемого в единицу времени в технологическом процессе вредного вещества, $\text{мг}/\text{ч}$, $C_{\text{выт.}}$ – концентрация вредного вещества в рабочей зоне, $\text{мг}/\text{м}^3$).

Если приточный воздух не загрязнен вредным веществом ($C_{\text{пр}} = 0$), то

$$Q_{\text{выт.}} = \frac{Z_T}{C_{\text{выт.}}}. \quad (1.16)$$

Минимально необходимая производительность Q общеобменной вентиляции для обеспечения нормативного качества воздуха рабочей зоны определяется при $C_{\text{выт}} = \text{ПДК}_{\text{рз}}$.

Если в помещении выделяется несколько вредных веществ, обладающих независимым действием, необходимо выполнить расчет необходимой производительности вентиляции для каждого вещества и для обеспечения нормативного качества воздуха по всем веществам принять наибольшую производительность.

Если в помещении выделяются несколько вредных веществ, обладающих эффектом суммации, для обеспечения нормативного качества воздуха необходимо принять сумму производительностей, рассчитанных по каждому веществу независимо.

При выделении в помещении большой массы вредных веществ расчеты могут дать очень большую необходимую производительность общеобменной вентиляции. Это может быть невыгодно с экономических соображений, т.к. потребует больших затрат электроэнергии для питания мощных вентиляторов. Кроме того, в помещении могут создаваться большие скорости движения воздуха, что может быть недопустимо для организации технологического процесса и обеспечения установленных гигиенических требований.

В таких случаях широко применяется местная вентиляция, которая позволяет существенно сократить затраты энергии для обеспечения нормативного качества воздушной среды в рабочей зоне.

Местная вентиляция характеризуется тем, что с ее помощью загрязненный воздух удаляется непосредственно из зоны выделения вредных веществ.

Система *местной вытяжной вентиляции* предназначается для локализации и предотвращения

распространения по всему помещению вредных веществ, образующихся на отдельных участках производства. Устройства местной вытяжной вентиляции очень разнообразны и зависят от метода удаления (отсоса) загрязненного воздуха из зоны загрязнения. Классификация местных отсосов представлена на рис. 1.9.

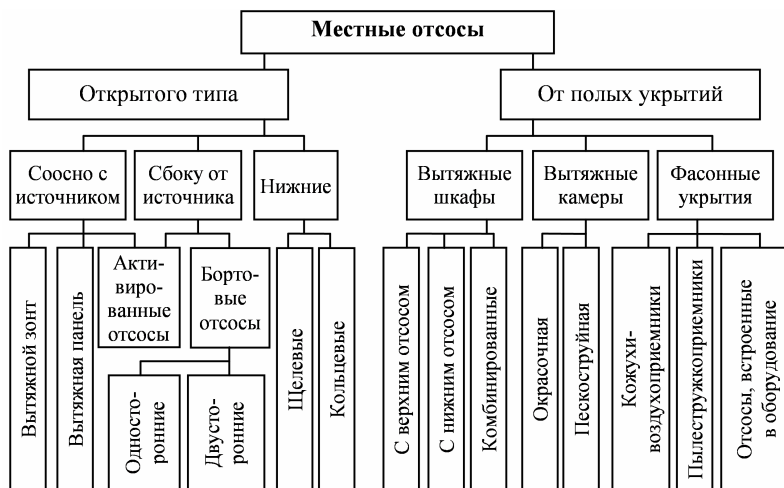


Рис. 1.9. Классификация местных отсосов

По степени изоляции зоны образования вредных веществ отсосы подразделяются на отсосы открытого типа и отсосы от полных укрытий.

Отсосы открытого типа – это отсосы, находящиеся на некотором удалении от зоны образования вредных веществ. Такие отсосы могут быть расположены соосно с источником выделения вредных веществ и сбоку от него. К первому виду открытых отсосов можно отнести вытяжные зонты и вытяжные (всасывающие) панели. Ко второму – бортовые отсосы.

Вытяжные зонты предназначены для удаления вредных выделений, поднимающихся вверх, а именно при

тепло и влаговыведениях, любых вредных веществ с тепловыведениями, создающими устойчивый восходящий поток. Некой разновидностью вытяжных зонтов являются всасывающие воронки, предназначенные для удаления вредных веществ, которые из-за плотности, большей плотности воздуха, опускаются вниз.

Вытяжные (всасывающие) панели применяют, когда по конструктивным соображениям соосный отсос нельзя расположить достаточно низко над источником или когда необходимо отклонять поток поднимающихся вредных выделений так, чтобы он не проходил через зону дыхания работающего человека. Панели бывают боковые, угловые, наклонные.

Когда обрабатываемые на рабочем столе изделия могут иметь различные габариты применяют подъемно-поворотные отсосы открытого типа. Вытяжные панели широко применяют на участках сварки, пайки.

Бортовые отсосы применяют в технологических процессах нанесения на изделия покрытий для улавливания вредных выделений с поверхности гальванических, травильных, закалочных растворов. Бортовые отсосы выполняют в виде боковых щелей вдоль бортов ванны с растворами. Бортовые отсосы могут быть выполнены с одной стороны ванны (односторонние) и с двух (двусторонние).

Активированные отсосы. В активированных отсосах приточная струя воздуха отделяет зону выделения вредных веществ от незагрязненного объема воздуха, сдувает поток вредных веществ и направляет его в сторону действия отсоса.

Местные отсосы от полных укрытий. Наиболее эффективно для удаления вредных веществ полное укрытие источника. В этом случае надежно гарантируется непопадание вредного вещества в незагрязненную зону

помещения и обеспечивается минимальная производительность вытяжной вентиляции, т.к. нет подсоса воздуха с других участков помещения. Однако по конструктивным и технологическим соображениям не всегда можно сделать укрытие полностью герметичным. Примером местного отсоса с укрытием являются вытяжные шкафы, вытяжные камеры, фасонные укрытия.

Вытяжные шкафы находят широкое применение при различных операциях, связанных с выделением вредных веществ, как правило паров и газов. Вытяжной шкаф представляет собой колпак необходимого объема; внутри него выполняется технологическая операция с выделением вредных веществ, которые собираются и поступают во всасывающий воздуховод.

Вытяжные шкафы могут быть с верхним, нижним и комбинированным (с верхним и нижним) отсосами. Вытяжные шкафы широко применяются на занятиях по химии при проведении экспериментов с химическими веществами.

Вытяжные камеры. При выполнении ряда технологических процессов (например, окраски, пескоструйной обработки, плазменной резки и т.д.) источник выделения или всю установку помещают в камеру на время процесса. Как правило, камеры применяются для технологических процессов, характеризующихся интенсивным выделением пыли и вредных газов. Камера снабжается отсосом, через который образующиеся вещества удаляются местной вытяжной вентиляцией в течение технологического процесса и некоторое время спустя до полной очистки камеры перед ее открытием.

Фасонные укрытия. На абразивных станках (заточных, шлифовальных и др.), обработка деталей на которых выполняется абразивными кругами, что сопровождается

пылевыведениями и отлетанием крупных частиц, которые могут нанести травму, устанавливают кожухи – воздухоприемники.

Технологическое оборудование, в частности металлообрабатывающие станки, снабжаются *пылестружкоприемниками*.

На рис. 1.10 изображена схема механической приточно-вытяжной вентиляции цеха промышленного предприятия, предусматривающая общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию и местную вытяжную вентиляцию с местными отсосами от источников выделения вредных веществ.

1.11.2. Методы и средства очистки воздуха от вредных веществ

В тех случаях, когда в воздухе рабочей зоны и в выбросах содержатся вредные вещества в количествах значительно превышающих нормативные значения, применяют системы и аппараты для очистки вентиляционных и технологических выбросов.

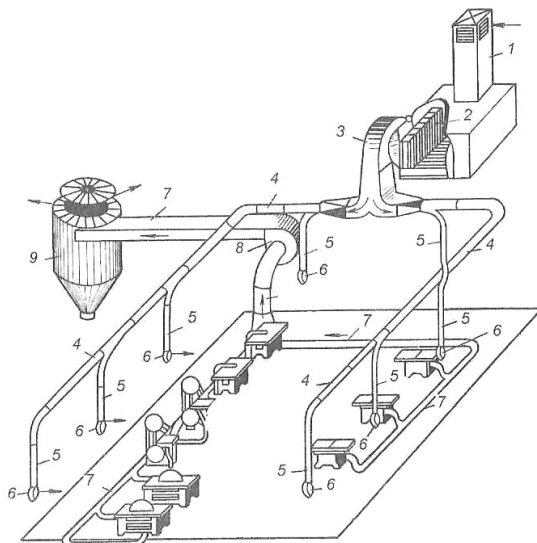


Рис. 1.10. Схема механической приточно-вытяжной вентиляции цеха:

- 1 – шахта для забора приточного воздуха;
 2 – подогреватель приточного воздуха (калорифер); 3 – приточный вентилятор;
 4 – воздуховоды; 5, 6 – разводка воздуха на рабочие места; 7 – вытяжные воздуховоды;
 8 – вытяжной вентилятор; 9 – устройство очистки вытяжного воздуха

Для очистки загрязненного воздуха применяются аппараты различных конструкций, использующие различные методы очистки от вредных веществ.

Основными параметрами газоочистных аппаратов и систем очистки являются *эффективность* и *гидравлическое сопротивление*. Эффективность определяет концентрацию вредной примеси на выходе из аппарата, а гидравлическое сопротивление – затраты энергии на пропуск очищаемых газов через аппараты. Чем выше эффективность и меньше гидравлическое сопротивление, тем лучше.

Эффективность очистки аппарата или системы аппаратов рассчитывается по формуле

$$\eta = 1 - \frac{C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}}, \quad (1.17)$$

где $C_{\text{ВХ}}$ и $C_{\text{ВЫХ}}$ – массовые концентрации примесей в газе до и после аппарата или системы аппаратов, мг/м³.

Если эффективности одного аппарата недостаточно для обеспечения требуемой чистоты отходящего воздуха, последовательно ставят несколько ступеней газоочистных аппаратов, суммарную эффективность которых можно определить по формуле

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (1.18)$$

где η – эффективность каждого аппарата в системе газоочистки.

Если очищенный в аппарате воздух направляется в рабочую зону, то требуемую эффективность аппарата или системы очистки рассчитывают по формуле

$$\eta_{\text{треб}} = 1 - \frac{0,3 \cdot \text{ПДК}_{\text{рз}}}{C_{\text{вх}}}. \quad (1.19)$$

Если выброс очищенного воздуха на территории промышленного предприятия осуществляется через трубы, то устанавливают предельно допустимый выброс (ПДВ), определяющий то количество вредного вещества, которое может быть выброшено в единицу времени, чтобы с учетом рассеивания вредной примеси в атмосфере ее приземная концентрация не превышала предельно допустимую концентрацию для населенных мест. ПДВ может измеряться в мг/с и в т/год.

Зная концентрацию каждого вредного вещества в очищаемых газах $C_{\text{ВХ}}$ (мг/м³) и установленный для него ПДВ (мг/с), можно определить требуемую эффективность очистки газоочистного аппарата или их системы для этого вещества:

$$\eta_{\text{треб}} = 1 - \frac{\text{ПДВ}}{QC_{\text{вх}}}, \quad (1.20)$$

где Q – объем очищаемых газов в единицу времени (м³/с).

Номенклатура существующих газоочистных аппаратов очень широка, а их технические возможности позволяют обеспечивать высокие степени очистки отходящих газов практически по всем веществам. Создание высокоэффективных газоочистных систем сдерживается лишь финансовыми возможностями предприятий и государства.

Пылеуловители. Для очистки отходящих газов от пыли имеется широкий выбор аппаратов, которые можно разделить на две большие группы: сухие и мокрые (скрубберы) – орошаемые водой. Рассмотрим лишь некоторые из них, получившие наибольшее распространение в технике пылеулавливания.

Циклоны. Наиболее широкое распространение в практике пылеулавливания получили циклоны различных видов: одиночные, групповые, батарейные. На рис. 1.11 изображена конструкция *одиночного циклона*. Очищаемый воздух из входного патрубка 1 через спиралеобразный вход 2, предназначенный для закручивания потока, поступает сначала в цилиндрическую 4, а затем коническую 5 части корпуса. Во вращающемся потоке под действием центробежных сил более тяжелые, чем частицы воздуха, пылевые частицы сепарируются к периферии, а затем под действием силы тяжести собираются в пылевой бункер 7, выход из которого закрыт пылевым затвором 6. Более чистый воздух из центральной части корпуса через выхлопную трубу 3 поступает в камеру дочищенного газа, а из нее в патрубок 9 выхода очищенного воздуха. Пылевой затвор обычно выполняют в виде мигалки с конусным клапаном, изображенной в увеличенном виде на рисунке. Когда вес накопившейся в пылевом бункере пыли превысит силу, прижимающую конусный клапан и создаваемую контргрузом, клапан откроется, сбросит пыль

в приемную емкость и под действием груза вновь закрывается.

Существует много различных типов циклонов, но наибольшее распространение получили циклоны типов ЦН и СК-ЦН (тип серии С – сажевые), с помощью которых можно решить большинство задач по пылеулавливанию. Разработаны стандартные циклоны различных размеров с диаметрами цилиндрической части от 200 до 3000 мм. Все размеры, необходимые для изготовления циклона, представлены в долях от диаметра d его цилиндрической части. Для оптимального режима циклона в его цилиндрической части должна обеспечиваться оптимальная скорость u_{opt} . При заданной производительности Q ($\text{м}^3/\text{с}$) необходимый диаметр циклона определяется по формуле

$$d_{\text{необх}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u_{opt}}}, \text{ м.} \quad (1.21)$$

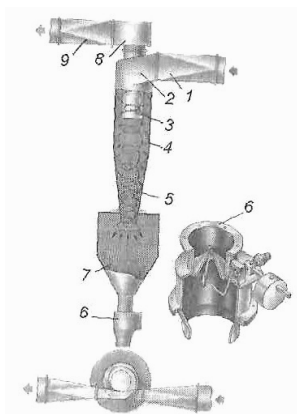


Рис. 1.11. Одиночный циклон:
 1 – патрубок входа запыленного газа;
 2 – винтообразная крышка;
 3 – выхлопная труба;
 4 – корпус (цилиндрическая часть);
 5 – корпус (коническая часть);
 6 – пылевой затвор; 7 – бункер;
 8 – камера очищенного газа;
 9 – патрубок выхода очищенного газа

Диаметр $d_{\text{необх}}$ при выборе циклона округляют до ближайшего из стандартного типоразмера. Оптимальные скорости циклонов различных типов приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Рабочие параметры циклонов

Параметр	Тип циклона					
	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-11	ЦН-24	СК-ЦН-22	СК-ЦН-34
u_{opt} , м/с	3,5	3,5	3,5	4,5	2,0	1,7
d_{50} , мкм	4,5	6	3,65	8,5	1,13	1,95
$lg\sigma_{ij}$	0,352	0,283	0,352	0,308	0,34	0,38

Эффективность улавливания циклоном частиц пыли различного размера характеризуется его спектром улавливания.

Спектр улавливания циклонов можно описать двумя параметрами (см. табл. 1.7): d_{50} – диаметром частицы, улавливаемой в аппарате с эффективностью 0,5 (иногда этот параметр называют медианной тонкостью очистки), и $lg\sigma_{ij}$ – параметром, характеризующим вероятностный спектр улавливания аппарата.

Пыли, образующиеся в различных технологических процессах, обладают полидисперсным составом (частицами различного размера). Распределение большинства промышленных пылей по дисперсному составу можно описать также двумя параметрами: d_m и $lg\sigma_{ch}$. Первый параметр d_m называется медианным диаметром. Медианный размер – это размер такой частицы, для которой масса всех частиц в навеске промышленной пыли с диаметрами меньшими ее диаметра равна массе частиц с диаметрами большими ее диаметра. Второй параметр $lg\sigma_{ch}$ характеризует вероятностный спектр распределений частиц пыли по размерам. Для большинства промышленных пылей, которые образуются в типовых технологических процессах, параметры d_m , $lg\sigma_{ch}$, известны и приводятся в атласах промышленных пылей.

Для того чтобы определить эффективности очистки аппаратом, необходимо определить параметр

$$x = \frac{lg(d_{50} / d_m)}{\sqrt{lg^2 \sigma_{ij} + lg^2 \sigma_{ch}}}, \quad (1.22)$$

а затем по справочным математическим таблицам определить значение нормальной функции распределения (интеграла вероятности) $F(x)$ от параметра x . Эффективность аппарата равна этому значению: $\eta = F(x)$.

При больших диаметрах циклона кривизна траектории, по которой в корпусе вращается поток газа, уменьшается и ухудшается сепарация пыли к периферии, в результате снижается эффективность циклона по сравнению с расчетной. Поэтому циклоны с диаметром более 1 м применять не рекомендуется. Лучше применять *групповые циклоны*, в которых несколько одиночных циклонов (как правило, четыре или шесть) сгруппированы в один блок обычно с единым пылевым бункером и выходной камерой. Расчет группового циклона аналогичен одиночному циклону с той лишь разницей, что общий объем очищаемого воздуха равномерно распределяется между одиночными циклонами, образующими группу.

Циклоны можно применять при высоких пылевых нагрузках – до 400 г/м^3 , при температурах газов до $500 \text{ }^\circ\text{C}$, однако существуют проблемы при улавливании слипающихся и пожаровзрывоопасных пылей.

Фильтры. В технике пылеулавливания широко применяют фильтры, которые обеспечивают высокую эффективность улавливания мелких частиц. Процесс очистки заключается в пропускании очищаемого воздуха через пористую перегородку или слой пористого материала. Перегородка работает как сито, не пропуская частицы с размером большим диаметра пор. Частицы же меньшего размера проникают внутрь перегородки и задерживаются там за счет инерционных, электрических и диффузионных процессов. Некоторые пылевые частицы просто заклиниваются в искривленных и разветвленных

поровых каналах. По типу фильтровального материала фильтры делятся на тканевые, волокнистые и зернистые.

У *тканевых фильтров* фильтровальной перегородкой является ткань (хлопчатобумажная, шерстяная, лавсановая, нейлоновая, стеклянная, металлическая и т.д.) с регулярной структурой переплетения нитей (саржевой, полотняной и т.д.). Основным механизмом фильтрования у таких фильтров – ситовый. Фильтрует не только и даже не столько фильтровальная ткань, сколько пылевой слой, образующийся на ее поверхности, поэтому такие фильтры можно регенерировать путем сброса слоя пыли с поверхности ткани, т.е. механизм фильтрования в значительной степени поверхностный.

Волокнистые фильтры – это слой тонких и ультратонких волокон с нерегулярной, хаотичной структурой. Частицы пыли проходят внутрь слоя и задерживаются там, т.е. механизм фильтрования – объемный. Такие фильтры плохо регенерируются, т.к. удалить пыль изнутри слоя сложно. В большинстве случаев просто меняют насадку волокон или слой волокнистого материала. Примером волокнистого материала может являться войлок или ткань Петрянова, используемая в респираторах. Волокнистые фильтры могут обеспечить очень высокую степень очистки от ультратонких частиц. Поэтому их чаще всего применяют в системах приточной вентиляции для очистки атмосферного воздуха, поступающего в помещения, где требуется высокая степень чистоты для выполнения технологического процесса (оптика, радиоэлектроника и т.д.). Применяют их также для улавливания небольших количеств пыли ценных и редких веществ (золота, алмазов и пр.), при улавливании аэрозолей кислот, щелочей и т.д. Т.к. фильтры плохо регенерируются, для увеличения ресурса их работы ограничивают пылевые нагрузки и

концентрацию пыли в очищаемом воздухе обычно до 5 мг/м³.

Зернистые фильтры в технике очистки промышленных выбросов используются редко и представляют собой насадку зернистого материала, спеченного или свободной засыпки.

Наибольшее распространение в технике очистки промышленных выбросов применяют *тканевые рукавные фильтры*. Конструкция такого фильтра показана на рис. 1.12.

В корпусе 2 призматической формы расположено большое число рукавов 8 аналогично циклонным элементам батарейного циклона. Воздух очищается при прохождении через ткань каждого рукава. Ткань обычно закрепляется на каркасе (каркасные фильтры). В процессе фильтрования на ткани накапливается слой пыли, который уплотняется. При этом увеличивается эффективность очистки и гидравлическое сопротивление. Фильтровальные рукава регенерируются посредством их встряхивания и обратной продувки. Рукава регенерируются периодически, причем одни группы рукавов работают в режиме фильтрования, а другие – регенерации (рис. 1.13). Для этого конструкция фильтра предусматривает коллектор 5 сжатого воздуха и систему клапанов 6, регулирующих подачу воздуха для продувки в рукава.

Волокнистые материалы широко применяются в туманоуло-вителях – для улавливания масляных, кислотных, щелочных и других аэрозолей.

Электрофильтры используют для очистки больших объемов воздуха с высокой эффективностью. Наибольшее применение они нашли в металлургии и теплоэнергетике.

Основным элементом электрофильтра являются пары электродов, один из которых коронирующий, а другой

осадительный. На электроды подается постоянное высокое напряжение (14...100 кВ). Сущность работы электрофильтра состоит в следующем (см. рис. 1.14, а). Т.к. осадительный электрод обладает значительно большей площадью, нежели коронирующий, между ними создается неоднородное электрическое поле, наиболее высокая напряженность которого наблюдается у коронирующего электрода. При высоких напряжениях у коронирующего электрода возникает коронный разряд, и начинается ионизация воздуха – образование пар отрицательно и положительно заряженных ионов. Наиболее часто коронирующие электроды подсоединяются к отрицательному полюсу, а осадительные – к положительному полюсу.

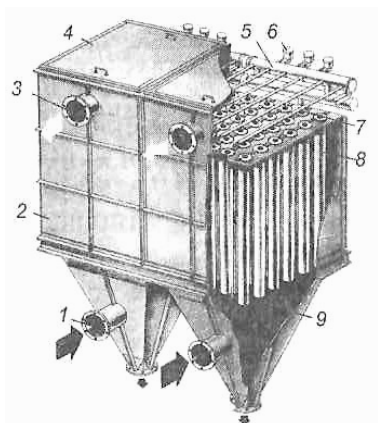


Рис. 1.12. Рукавный фильтр:
 1 – вход запыленного газа; 2 – корпус; 3 – выход очищенного газа; 4 – крышка; 5 – коллектор сжатого воздуха; 6 – секции клапанов; 7 – подвод сжатого воздуха; 8 – рукав; 9 – пылевой бункер

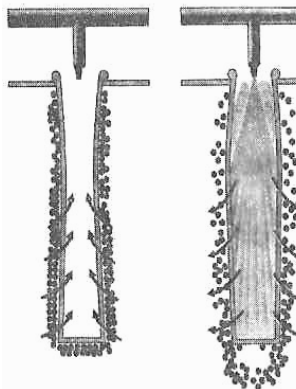


Рис. 1.13. Механизм регенерации рукавов

Это объясняется более высокой скоростью перемещения (дрейфа) электронов, нежели положительных ионов. Однако при этом образуется больше токсичного газа – озона. При такой полярности электродов отрицательные

частицы (электроны) начинают двигаться от места их образования у коронирующего электрода к положительному полюсу осадительного электрода. Через пространство между электродами пропускают очищаемый газ, электроны адсорбируются на поверхности частиц пыли, тем самым заряжая их. Отрицательно заряженные частицы пыли начинают перемещаться к положительному осадительному электроду и прилипают к нему, удерживаясь электрической силой. Электроды выполняются различной формы, важно лишь создать неоднородное электрическое поле с концентраторами его напряженности на коронирующем электроде. На рис. 1.14, б показана конструкция пары электродов с трубчатым осадительным электродом.

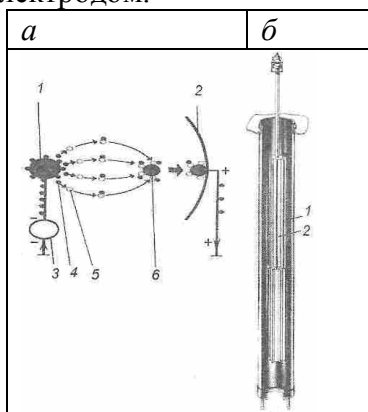


Рис. 1.14. Сущность работы электрофильтров

a – механизм электростатического осаждения частиц: 1 – коронирующий электрод; 2 – осадительный электрод; 3 – агрегат электропитания; 4 – электрон; 5 – молекула газа; *б* – осадимая частица; *б* – электродная пара с трубчатым осадительным электродом; 1 – трубчатый осадительный электрод; 2 – коронирующий электрод

Затраты электроэнергии на правильно работающих электрофильтрах на единицу объема очищаемого воздуха невелики, они конкурируют и даже превосходят по этому критерию другие типы пылеуловителей. Однако сложное электрическое оборудование, опасность очень высоких

напряжений требует специально подготовленного обслуживающего персонала. Поэтому наиболее часто они применяются на крупных промышленных объектах и при необходимости очистки больших объемов отходящего и сильно запыленного воздуха.

Находят применение электрофильтры и в технике очистки приточного воздуха, подаваемого в помещение. Однако, в этом случае для снижения интенсивности образования токсичного, но нестойкого озона полярность электродов меняется на обратную, и снижается подаваемое напряжение (до 7... 14 кВ).

Пылеуловители мокрого типа (скрубберы) целесообразно применять для очистки высокотемпературных газов, улавливания пожаровзрывоопасных пылей и в тех случаях, когда наряду с улавливанием пыли требуется улавливать токсичные газовые примеси и пары. Аппараты мокрого типа иначе называют промывателями газов, скрубберами. Применяются различные типы аппаратов. Рассмотрим принцип их действия и особенности работы на примере простейших, но в то же время наиболее распространенных типов аппаратов: полых форсуночных и пенных.

Один из вариантов конструкции полых скрубберов представлен на рис. 1.15. Скруббер имеет цилиндрическую форму корпуса 1, в который снизу через входной патрубок 2 подается очищаемый воздух. Воздух, поднимаясь вверх, проходит через водяную пленку, создаваемую форсунками 3. При этом мелкие частицы пыли оседают на каплях жидкости, коагулируют (укрупняются, слипаясь друг с другом) и под действием силы тяжести, которая начинает превосходить аэродинамическую силу, действующую со стороны восходящего потока воздуха, оседают вниз. Все аппараты мокрого типа снабжаются каплеуловителями 5. Наиболее распространены каплеуловители центробежного

типа, в которых капельки воды отделяются от очищенного газа под действием центробежной силы во вращающемся потоке, создаваемом при прохождении газа через закручивающиеся лопатки.

На рис. 1.16 изображен пенный аппарат. Он устроен аналогичным образом, только сечение аппарата перекрыто несколькими рядами решеток. Каждый ряд состоит из пенообразующей и стабилизирующей пену решеток 3, 4. Сверху на решетки через оросительное устройство 5 подается вода или какой-либо водный раствор. Для улучшения образования пены в воду могут добавлять пенообразователи (например, ПАВ – поверхностно-активные вещества). Частицы пыли коагулируют в пене, проваливаются через отверстия решеток и в виде шлама собираются в нижней части аппарата, откуда отводятся в шламосборник. Особенностью представленной конструкции является то, что вход очищаемого воздуха в аппарат направлен на поверхность шлама.

Это повышает эффективность аппарата, т.к. проявляется ударно-инерционный механизм очистки. Газ ударяется о поверхность шлама и разворачивается на 180° для подъема вверх. Частицы пыли при ударе прилипают к шламу и выделяются из потока под действием возникающей инерционной силы.

Недостатком аппаратов мокрого типа является наличие систем водоснабжения, рециркуляции воды и ее очистки перед повторной подачей на орошение аппарата.

Газоуловители. Для удаления из отходящего воздуха вредных газовых примесей применяют следующие методы: абсорбция, хе-мосорбция, адсорбция, термическое дожигание, каталитическая нейтрализация.

Абсорбция – это явление растворения вредной газовой примеси сорбентом, как правило, водой. Методом абсорбции можно улавливать только хорошо растворимые

газовые примеси и пары. Так, хорошей растворимостью в воде обладают: аммиак, хлористый водород, фтористый водород, пары кислот и щелочей. Для проведения процесса абсорбции применяют аппараты мокрого типа, используемые в технике пылеулавливания, только в этом случае их принято называть абсорберами. Для того чтобы процесс диффузии из газовой фазы в водную протекал интенсивнее, желательно очищаемый воздух иметь горячим, а абсорбент (воду) холодным. С этой целью воду перед подачей на орошение абсорбера целесообразно охлаждать. По мере циркуляции воды она насыщается вредной газовой примесью и перестает ее абсорбировать. Абсорбент регенерируют путем нагрева и вакуумирования в специальных аппаратах. При этом вредный газ выделяется в концентрированном виде, собирается в емкости и направляется на переработку и утилизацию.

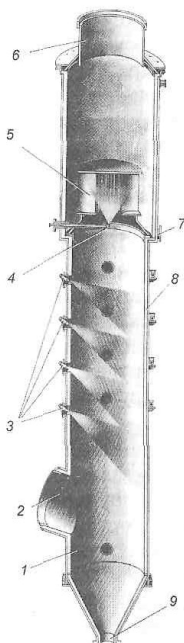


Рис. 1.15. Полый форсуночный

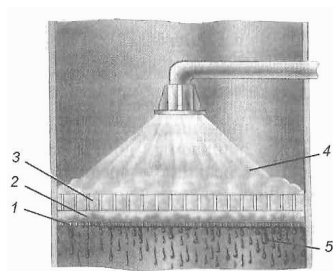


Рис. 1.16. Принцип действия

скруббер:

1 – корпус скруббера; 2 – входной патрубок; 3 – форсунки; 4 – форсунка промывки каплеуловителя; 5 – центробежный каплеуловитель; 6 – выходной патрубок;

7 – слив жидкости, ответвленной в каплеуловитель; 8 – коллектор подачи воды;

9 – отвод шлама

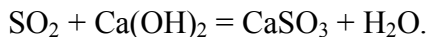
пенного скруббера:

1 – пеннообразующая решетка; 2 – турбулизированная пена; 3 – стабилизатор слоя пены; 4 – орошающая жидкость; 5 – шлам

Хемосорбция. Для газовых примесей нерастворимых или плохо растворимых в воде применяют метод хемосорбции, который заключается в том, что очищаемый воздух орошают растворами реагентов, вступающих в реакцию с вредными примесями с образованием нетоксичных, малолетучих или нерастворимых химических соединений.

Этот метод широко используется для улавливания сернистого ангидрида (SO_2). Отходящий воздух орошают суспензией известняка (CaCO_3), известковым молоком (мелкодисперсной суспензией гашеной $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или негашеной CaO извести), суспензией магнезита MgO .

Эти вещества вступают в реакцию с сернистым ангидридом с образованием нерастворимого сульфита кальция, например:



Этот метод нерегенерируемый, сульфит кальция в конечном итоге превращается в твердый гипс.

Очень хорош и находит применение регенерируемый магнезитовый метод, при котором газы орошают суспензией окиси магния:



Регенерация осуществляется путем обжига с нагревом до 800–900 °С:



Сернистый ангидрид выделяется в концентрированном виде, собирается и используется для производства товарной серной кислоты или чистой серы.

Адсорбция. Метод адсорбции заключается в улавливании микропористой поверхностью адсорбента (активированный уголь, силикагель, цеолиты) молекул вредных веществ. Метод обладает очень высокой эффективностью, но жесткими требованиями к запыленности воздуха – не более 2–5 мг/м³. Одним из лучших адсорбентов является активированный уголь, у которого в 1 г содержится до 1600 м² поверхности. Методом адсорбции очистка может осуществляться практически до следовых уровней вредных веществ. Адсорбция широко применяется для улавливания паров растворителей, неприятно пахнущих веществ, органических соединений и множества др. газов. Адсорбционная способность адсорбента тем выше, чем меньше его температура, и существенно снижается с ее повышением. Это используется в работе адсорберов и при их регенерации. Примером конструкции адсорбера является противогаз.

Одна из конструкций промышленного кольцевого адсорбера представлена на рис. 1.17. Очищаемый газ проходит через кольцевой слой адсорбента и очищается. Регенерация адсорбента осуществляется путем продувки горячим водяным паром с последующей сушкой горячим воздухом, т.е. работа аппарата проходит в три стадии, для осуществления которых необходимы три параллельных линии аппаратов. Схема, поясняющая процесс адсорбции и работы адсорбционной установки, показана на рис. 1.18.

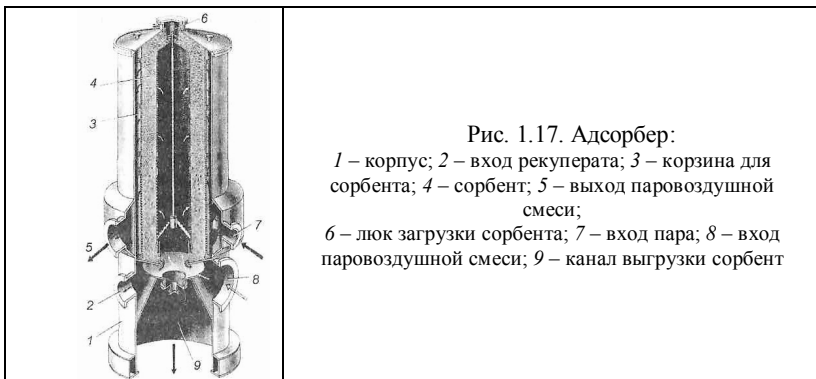


Рис. 1.17. Адсорбер:

1 – корпус; 2 – вход рекуперата; 3 – корзина для сорбента; 4 – сорбент; 5 – выход паровоздушной смеси; 6 – люк загрузки сорбента; 7 – вход пара; 8 – вход паровоздушной смеси; 9 – канал выгрузки сорбент

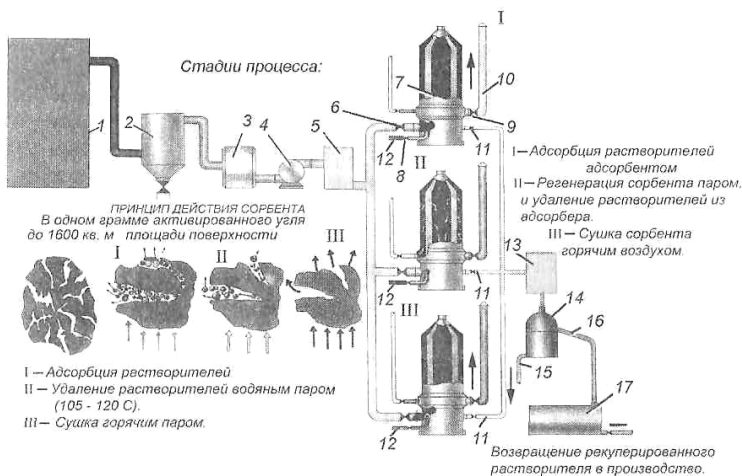


Рис. 1.18. Принципиальная схема адсорбционной установки:

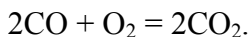
1 – источник загрязнений; 2 – рукавный фильтр; 3 – огнепреградитель; 4 – вентилятор; 5 – холодильник; 6 – клапан входа очищаемой смеси; 7 – адсорбер; 8 – клапан входа сушильного газа; 9 – клапан выброса очищенного газа; 10 – труба выброса очищенного газа; 11 – выход рекуперата; 12 – вход сушильного воздуха; 13 – холодильник конденсатор; 14 – сепаратор; 15 – вода; 16 – бензин; 17 – сборная емкость

Каждый аппарат работает в определенном режиме – один в режиме адсорбции, другой – продувки водяным паром, третий – сушки воздухом. Затем происходит их переключение, и они переходят в другой режим. Перед адсорберами установлен холодильник для охлаждения газов, после них также устанавливается холодильник-конденсатор для конденсации удаляемых при регенерации

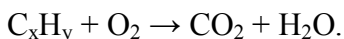
паров воды и примесей, сепаратор для разделения воды и растворителей за счет разной плотности. Растворители могут вновь направляться в производство.

Термическое дожигание – это процесс окисления вредных веществ кислородом воздуха при высоких температурах (900–1200 °С). Различают прямое сжигание и термическое окисление. Прямое сжигание используют, когда отходящий из технологического процесса поток газа содержит кислород, а вредные примеси относятся к горючим и выделяют при горении энергию, достаточную для поддержания реакции. Так дожигают циановодород и попутные газы в вертикальных открытых факелах на нефтехимических заводах.

Термическое окисление осуществляют в специальных дожигателях, в которые подается воздух в необходимом для окисления количестве. При недостаточной температуре отходящих газов для проведения процесса термического окисления газы подогревают дежурным факелом специальной горелки, работающей на топливе (наилучшее для этих целей топливо – малосернистый природный газ). С помощью термического дожигания окисляют токсичный угарный газ СО до нетоксичного углекислого газа СО₂



Углеводороды C_x H_y окисляют до углекислого газа и воды:



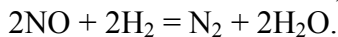
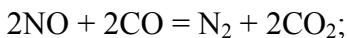
Процесс термического окисления при низкой температуре отходящих газов энергоемок, т.к. требует использования дополнительного топлива для нагрева газов до высоких температур.

Каталитическая нейтрализация позволяет снизить энергетический порог для начала окислительных реакций

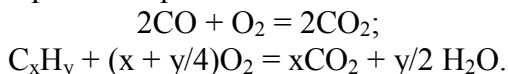
до 250...400 °С. Это достигается применением катализаторов – материалов, которые ускоряют протекание реакций или делают их возможным при значительно более низких температурах. Это обеспечивает снижение энергоемкости процесса. В качестве катализаторов используют, прежде всего, благородные металлы – платину, палладий в виде тонкослойных напылений на металлические или керамические носители, кроме того, применяются монельметалл, двуокись титана, пятиокись ванадия и т. д.

Конструкция каталитического реактора кольцевого типа аналогична конструкции кольцевого адсорбера. Очищаемый воздух пропускается через слой катализатора, при этом на поверхности катализатора протекают экзотермические (идушие с выделением тепла) окислительные реакции, температура газов может повышаться с 250–400 °С до 500 °С. Для использования этой энергии и снижения тем самым расхода топлива, подаваемого в горелку для предварительного подогрева очищаемых газов, реактор снабжен трубчатым теплообменником, в котором газы, подаваемые на очистку, подогреваются за счет тепла горячих очищенных газов, выходящих из каталитического слоя. Термокаталитические реакторы широко применяют для очистки отходящих газов окрасочных цехов, сушильных камер и т.д.

Каталитические нейтрализаторы используют для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от оксидов азота, углерода, углеводородов. Нейтрализатор двухступенчатый. Первая ступень содержит восстанавливающий слой катализатора, на поверхности которого без доступа воздуха происходит восстановление оксидов азота и углерода по реакциям



Во второй ступени в окисляющем слое катализатора в присутствии воздуха, подаваемого через специальный воздухозаборник, происходит доокисление оставшегося СО и углеводородов по реакциям



В качестве катализаторов для двигателей внутреннего сгорания используются платина, палладий, родий в количестве 2–4 г на одно устройство.

При сильном и многокомпонентном загрязнении отходящих газов применяют сложные многоступенчатые системы очистки, состоящие из последовательно установленных аппаратов различного типа.

Описанные выше аппараты могут использоваться в системах централизованной и индивидуальной очистки воздуха.

Централизованная система очищает загрязненный воздух, удаляемый от источников и из зон загрязнения цеха, предприятия централизованной системой вентиляции, как это показано на рис. 1.10.

Индивидуальная система очищает воздух, удаляемый из одной зоны или источника, и после его очистки вновь направляет в рабочую зону. Наибольшее распространение получили индивидуальные пылеуловители. Как правило, в едином корпусе таких пылеуловителей расположены: вентилятор, отсасывающий воздух из зоны пылеобразования и устройства очистки от пыли. Наиболее часто устройство очистки включает циклон в качестве первой ступени и фильтр – в качестве второй. На рис. 1.19 изображен индивидуальный пылеуловитель, входящий в комплект сверлильного или вертикально-фрезерного станка.

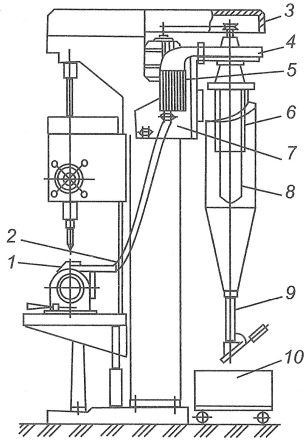


Рис. 1.19. Индивидуальный пылеулавливающий агрегат:
 1 – пылеуловитель; 2 – гибкий рукав;
 3 – кожух; 4 – вентилятор; 5 – глушитель шума;
 6 – циклон; 7 – кронштейн крепления;
 8 – рукавный фильтр; 9 – патрубок отвода пыли;
 10 – тележка с контейнером для сбора пыли

Если в системах пыле- и газоочистки не удается достичь требуемой эффективности, для обеспечения нормативного качества воздуха на территории промышленного предприятия и расположенной поблизости населенной местности, выброс недоочищенного воздуха осуществляют через высокие трубы, снижая за счет рассеивания вредных веществ их приземную концентрацию.

Максимальная концентрация примесей в приземном слое прямо пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату высоты трубы. Повышение температуры и скорости выхода потока загрязненного воздуха из устья трубы приводит к увеличению температурного и инерционного подъема струи, улучшению рассеивания вредных выбросов и снижению их концентраций в приземном слое атмосферы. В районе источника выброса образуется несколько характерных зон: зона переброски факела, включающая зону неорганизованного загрязнения; зона задымления с максимальным содержанием вредных веществ и зона, характеризующаяся постепенным снижением концентраций по мере удаления от источника.

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания и определения приземных концентраций выбросов промышленных предприятий, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД–86». В соответствии с этой методикой максимальная приземная концентрация, создаваемая от одиночного источника, может быть рассчитана по формуле

$$C_{\max} = \frac{AMFmm\eta}{H^2\sqrt[3]{Q\Delta T}}, \quad (1.23)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурного градиента атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных примесей (он зависит от климатической зоны, например для центральной части европейской территории России он равен 120); M – мощность выброса вредного вещества, г/с; F – коэффициент, учитывающий скорость оседания взвешенных частиц выброса в атмосфере (для газов равен 1, для пыли при эффективности очистки газоочистной установки более 90 % – 2, от 75 до 90 % – 2,5, менее 75 % – 3); m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья трубы (определяются по графическим зависимостям, приведенным в ОНД–86); η – коэффициент учета рельефа местности (для ровного рельефа – перепад высот не более 50 м на 1 км, равен 1); H – высота трубы, м; Q – объемная скорость выброса отходящих газов, м³/с; ΔT – разность температур выбрасываемой газовой смеси и окружающего атмосферного воздуха.

В приземном слое от источника загрязнений по каждой вредной примеси должна создаваться такая максимальная концентрация, чтобы при сложении с фоновой концентраций C_{ϕ} этой же примеси, уже имеющей место в атмосфере (за счет других источников), не превышалась

предельно допустимая максимально разовая концентрация, т.е. $C_{max} + C_{\phi} \leq \text{ПДК}$.

Из приведенной выше формулы можно определить минимальную высоту трубы, обеспечивающую выполнение этого условия:

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{AMFm\eta}{\text{ПДК} - C_{\phi}}} \sqrt{\frac{1}{Q\Delta T}}, \text{ м}, \quad (1.24)$$

а также предельно допустимый выброс каждого вредного вещества, если высота трубы задана:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДВ} - C_{\phi})H^2 \sqrt{Q\Delta T}}{AFm\eta}, \text{ г/с}. \quad (1.25)$$

1.12. Приборы и методы контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Контроль за состоянием воздуха в рабочей зоне производственных помещений можно условно разделить на *методы определения запыленности воздуха* и *методы анализа загазованности воздушной среды*.

Методы определения запыленности воздуха разделяют на две группы:

– с выделением дисперсной фазы из аэрозоля – *весовой (гравиметрический), счетный (кониметрический), радиоизотопный*;

– без выделения дисперсной фазы из аэрозоля – *фотоэлектрические, оптические, акустические, электрические*.

В основу гигиенического нормирования содержания пыли в воздухе рабочей зоны положен *весовой метод*. Метод основан на *протягивании запыленного воздуха через специальный фильтр, задерживающий пылевые частицы*. Зная массу фильтра до и после отбора пробы, а также количество отфильтрованного воздуха, рассчитывают содержание пыли в единице объема воздуха.

Для отбора проб рекомендуется использовать аспиратор модели 822 или автоматический одноканальный пробоотборник АПП-6-1. Методы и аппаратура, используемые для определения концентрации пыли, должны обеспечивать определение величины концентрации пыли на уровне 0,3 ПДК с относительной стандартной погрешностью, не превышающей $\pm 40\%$ при 95 % вероятности. При этом для всех видов пробоотборников относительная стандартная ошибка определения пыли на уровне ПДК не должна превышать $\pm 25\%$. Для этих целей может быть использован комплект, включающий фильтры АФА-ДП-3; АФА-ВП-10, 20; фильтродержатели, соединительные шланги, весы аналитические ВЛР-200 (2 класс) (рис. 1.20).

Суть счетного способа состоит в следующем: проводится отбор определенного объема запыленного воздуха, из которого частички пыли осаждаются на специальный мембранный фильтр (рекомендуется использовать мембранные фильтры «Миллипор» – Франция). После чего проводится подсчет числа пылинок, исследуется их форма и дисперсность под микроскопом. Концентрация пыли при счетном методе выражается числом пылинок в 1 см^3 воздуха.

Радиоизотопный метод измерения концентрации пыли основан на свойстве радиоактивного излучения (обычно α -излучения) поглощаться частицами пыли. Концентрацию пыли определяют по степени ослабления радиоактивного излучения при прохождении через слой накопленной пыли (концентратомер радиоизотопный «Прима» модели 01 и 03).

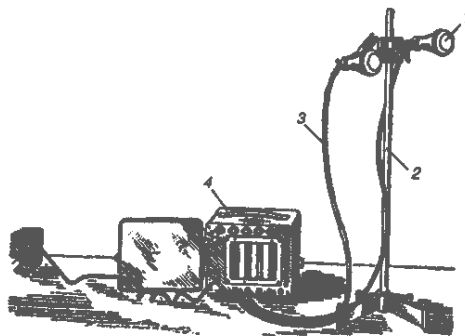


Рис. 1.20. Установка для определения концентрации пыли в воздухе:
1 – патрон с фильтром; 2 – штатив; 3 – резиновый шланг; 4 – аспиратор

Минздравом утверждены нормативные документы по определению содержания пыли:

МУ № 4436–87 «Измерение концентраций аэрозолей преимущественно фиброгенного действия»;

МУ № 4945–88 «Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы)».

Методы анализа загазованности воздушной среды, в первую очередь, делятся на *качественный анализ* и *количественный*. С помощью качественного анализа определяют в воздухе отдельные компоненты, не устанавливая их содержания. При количественном анализе определяют состав газовой смеси (%) или содержание в ней определенного компонента (компонентов). С другой стороны, контроль загазованности воздушной среды подразделяется на следующие методы: *лабораторные, экспрессные, индикаторные и непрерывные (автоматические)*.

Лабораторные методы заключаются в отборе проб воздуха на производстве и в их анализе в лабораторных условиях. Лабораторные методы исследований (фотометрические, хроматографические, спектроскопические и др.) отличаются высокой точностью,

но требуют специального оборудования и реактивов для отбора проб и не всегда достаточно оперативны.

Экспрессные методы измерения выполняются с помощью газоанализаторов различного типа.

Для быстрого решения вопроса о степени загрязнения воздушной среды производственного помещения пользуются *универсальными газоанализаторами* (УГ), работа которых основана на цветных реакциях в небольших объемах высокочувствительной жидкости или твердого вещества-носителя, пропитанного индикаторами (рис. 1.21). Вещество помещают в стеклянную трубочку, через которую пропускают определенный объем исследуемого воздуха; о количестве вредного вещества судят по длине окрашенного столбика, сравнивая его со специально проградуированной шкалой (экспрессный метод).

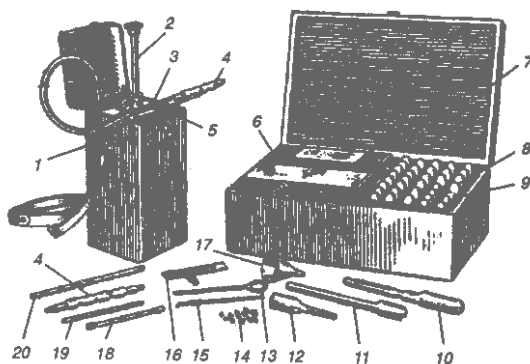


Рис. 1.21. Универсальный газоанализатор типа УГ-2:

1 – воздухозаборное устройство; 2 – шток; 3 – индикаторная трубка; 4 – трубка с поглотительным порошком; 5 – шкала; 6 – футляр для трубок; 7 – футляр для укладки принадлежностей; 8 – ампулы с индикаторным порошком; 9 – ампулы с поглотительным порошком; 10 – пустая запасная ампула для индикаторного порошка; 11 – ампула для поглотительного порошка; 12 – воронка с оттянутым концом; 13 – стержень; 14 – пыжи; 15 – штырек; 16 – шаблон для изготовления пыжей; 17 – воронка; 18 – индикаторная трубка с колпачками из сургуча; 19 – отработанная индикаторная трубка; 20 – термометр

Анализ газовой смеси с применением *объемно-манометрических* (ОМ) *газоанализаторов* основан на изменении объема газовой пробы в результате извлечения из неё определяемого компонента или суммы нескольких компонентов. К недостаткам ОМ-газоанализаторов следует отнести длительность и сравнительно невысокую точность определений.

Действие *тепловых газоанализаторов* основано на изменении тепловых свойств определяемого компонента при изменении его концентрации. Тепловые газоанализаторы подразделяют на термохимические (ТХ) и газоанализаторы теплопроводности (ТП).

Анализ газовых смесей на *магнитных газоанализаторах* основан на различиях парамагнитных свойствах газов. На практике анализаторы этого типа используются для определения O_2 , обладающего достаточно высоким парамагнетизмом в воздухе, в смеси непредельных углеводородов, в промышленных газах цементных печей и топочных газах. Точность определения составляет 2–5 %.

Для анализа газовых смесей применяют *электрические газоанализаторы*, действие которых основано на изменении какого-либо электрического свойства газа или жидкости, с которой газ прореагировал. В качестве показателей, характеризующих содержание измеряемого компонента, используют различный уровень ионизации отдельных газов под действием одного и того же ионизатора (ионизационные газоанализаторы), или изменение вольт-амперной характеристики элемента в зависимости от концентрации определяемого газа (электрохимические газоанализаторы), или изменение удельной электрической проводимости раствора смеси электролитов от концентрации соединений, образующихся при взаимодействии определяемого газового компонента с находящимся в избытке раствором определенного

электролита (электрокондуктометрические газоанализаторы).

Большую группу газоанализаторов составляют приборы, в которых используется зависимость изменения оптических свойств газовой смеси (показатель преломления, оптическая плотность, спектральное поглощение или излучение и т.п.) от содержания определяемого компонента. Наибольшее распространение среди оптических газоанализаторов получили *интерферометрические приборы*. С помощью этих приборов возможен анализ только бинарных смесей, компоненты которых существенно различаются по показателям преломления; их используют главным образом для определения CH_4 и CO_2 в рудничном и атмосферном воздухе.

В современной промышленности для анализа отходящих газов нашли применение газоанализаторы, принцип работы которых основывается на поглощении лучистой энергии. К ним относятся *инфракрасные (ИК) анализаторы*, реагирующие на характер спектров поглощения инфракрасного излучения отдельными газами.

Используются также приборы, в которых концентрацию компонентов определяют по поглощению колебаний в ближней ультрафиолетовой (от 200 до 400 нм) и видимой (400–700 нм) областях. *УФ-газоанализаторы* применяют для определения паров ртути в воздухе, хлора – в хлоровоздушной смеси и некоторых других газообразных соединений.

Работа *фотометрических* и *фотоколориметрических газоанализаторов* основывается на образовании специфически окрашенных продуктов при реакции определяемых газообразных компонентов с реагентами, а интенсивность окраски продуктов служит мерой концентрации реагирующих компонентов.

Принцип действия *хроматографических газоанализаторов* основан на различной способности отдельных газовых компонентов сорбироваться твердыми или жидкими сорбентами. Самой высокой поглощающей способностью обладают твердые сорбенты – активированный уголь, цеолиты, силикагель. В качестве жидких поглотителей применяют растворы кислот, солей и оснований и некоторых веществ сложного состава (неорганических и органических).

Кроме российских приборов существует большое количество газоанализаторов известных зарубежных фирм, таких как «Auergeselshaft» концерна MSA (США), «Dräger» (Германия), «Treleborg» (Швеция) и др., которые составляют серьезную конкуренцию отечественным приборам.

Индикаторные методы применяются для обнаружения высокоопасных веществ (ртути, цианистых соединений и др.). С их помощью можно быстро выполнять качественные анализы.

Качественный анализ газовых смесей производится с помощью *органолептического* или *индикаторного метода*, или с использованием *пористых поглотителей*.

Органолептический метод основан на определении примесей, содержащихся в атмосфере или газовых выбросах, по цвету или запаху. К газам, обладающим специфическим цветом, относят фтор, хлор, диоксид азота и некоторые другие; специфическим запахом отличаются хлор, аммиак, диоксид серы, оксиды азота, сероводород, фтористые соединения, цианиды, некоторые углеводороды и другие органические соединения. Однако индикацию газов органолептическим методом нельзя считать достоверной, так как возможная ошибка зависит не только от субъективных особенностей человека, но и от того, что

специфический цвет или запах могут маскироваться окраской и запахом других примесей.

Индикаторный метод основан на изменении окраски индикаторной бумаги, пропитанной соответствующими реактивам, в присутствии того или иного компонента газовой смеси. Так, красная лакмусовая бумага синееет в присутствии NH_3 и остается без изменения в присутствии кислых примесей (HCl , H_2S , SO_2 , CO_2 , NO , NO_2); красная и синяя лакмусовая бумага обесцвечиваются в присутствии хлора; бумага, пропитанная раствором ацетата свинца, чернеет в присутствии H_2S .

Индикация с помощью жидких или пористых поглотителей заключается в пропускании воздуха через жидкость, в которой растворен соответствующий реагент, или сквозь пропитанный реагентом пористый материал (силикагель, пемза, цеолиты). О наличии в воздухе или отходящих газах определяемой примеси судят по изменению окраски раствора или реагента, пропитывающего пористый материал.

Для постоянного контроля состояния воздушной среды наибольшее применение нашли автоматические приборы – газосигнализаторы, настроенные на определенный уровень загазованности. В случае превышения этого уровня приборы через систему автоматики подают звуковой и световой сигнал тревоги на пульт управления.

Определение содержания вредных веществ осуществляется в соответствии с «Методика контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны» Р 2.2.5.1313–03 и различными (для различных веществ) Методическими указаниями Минздрава РФ.

2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ

Благосостояние и здоровье трудящихся является важнейшей задачей социально-экономической политики государства.

Внедрение в промышленность новых технологических процессов, рост мощности и быстроходности технологического оборудования, механизация производственных процессов привели к тому, что человек подвергается воздействию шума высоких уровней. Проблема борьбы с шумом является неотъемлемой частью охраны труда и защиты окружающей среды.

Создание новых видов техники с форсированными параметрами по скорости, мощности, нагрузкам, появление новых отраслей промышленности и интенсификация уже существующих технологических процессов часто сопровождаются вместе с увеличением уровней шума увеличением прерывистых и импульсных шумов, расширением спектра в сторону ультра- и инфрачастотного диапазонов. Наряду с этим даже относительно низкие уровни шума создают дополнительные требования к организму человека в процессе его трудовой деятельности. Воздействие шума зачастую сочетается с воздействием других вредных факторов – вибрации, излучений и т.п. Это также повышает требования к снижению шума.

Для предотвращения риска ухудшения здоровья людей при воздействии шума необходима дальнейшая интенсификация мероприятий по защите их от шума. Кроме того, экономический ущерб вследствие неблагоприятного действия шума характеризуется увеличением затрат на компенсацию за профзаболевания, необходимость смены работы, медицинское обслуживание и т.д., в то время как эти средства можно сэкономить путем создания рабочих мест с малым уровнем шума.

Возможное снижение производительности труда работников вследствие воздействия шума также приводит к экономическим потерям. Следует отметить, что уровень шума станков, машин и механизмов становится все более важным критерием в международной торговле: оборудование с низким уровнем шума имеет большие экспортные шансы, а следовательно обеспечивает больший экономический эффект. Поэтому борьба с шумом является комплексной проблемой, связанной с решением гигиенических, технических, управленческих и правовых задач.

2.1. Основные понятия и определения

Сочетание звуков различной частоты и интенсивности называется *шумом*. Шумом являются всякого рода звуки, мешающие восприятию полезных звуков или нарушающие тишину, и также звуки, оказывающие вредное или раздражающее действие на организм человека.

Звук как физическое явление представляет собой волновое колебание упругой среды. Звуковые волны возникают в том случае, когда в упругой среде имеется колеблющееся тело или когда частицы упругой среды приходят в колебательное движение в продольном или поперечном направлении в результате воздействия на них какой-либо возмущающей силы.

Источниками звуков и шумов являются колеблющиеся твердые, жидкие или газообразные среды. Колебательные возмущения, распространяющиеся от источника звука в окружающей среде, называются *звуковыми волнами*, а пространство, в котором они наблюдаются, – *звуковым полем*.

В газообразной среде (воздухе) могут распространяться только продольные волны, в которых частицы среды колеблются вдоль направления распространения волн.

Направление распространения звуковой волны называется *звуковым лучом*. Фронт волны перпендикулярен звуковому лучу. В общем случае фронт волны имеет сложную форму, но в практических случаях ограничиваются рассмотрением трех видов волн: плоской, сферической и цилиндрической.

В виде плоской волны звук распространяется, когда размеры источника звука больше, чем длина излучаемой звуковой волны. Плоская волна образуется на значительных расстояниях от источника любых размеров.

В виде сферической волны звук распространяется, когда размеры источника звука малы по сравнению с длиной излучаемой звуковой волны. Цилиндрические волны образуются, например, за большим экраном с щелью при падении на него плоских звуковых волн, если щель имеет ширину намного меньше и длину намного больше длины этих волн.

Звуковая волна характеризуется частотой f и амплитудой колебания. Частота колебаний – число колебаний в секунду, Гц. Время одного колебания называется периодом колебания T (с):

$$T = \frac{1}{f}.$$

Амплитуда колебаний звуковой волны определяет звуковое давление; чем больше амплитуда колебаний, тем больше звуковое давление и громче звук.

Длиной звуковой волны называют расстояние, измеренное вдоль направления распространения звуковой волны между двумя точками звукового поля, в которых фазы колебаний одинаковы. Длина волны λ измеряется в метрах. В изотропной (однородной) среде длина волны связана с частотой f и скоростью звука c следующей зависимостью:

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

Как физиологическое явление звук определяется ощущением, воспринимаемым органом слуха при воздействии звуковых волн в диапазоне частот 16–20 000 Гц.

Звуковые волны распространяются со скоростью c (скорость звука), изменяющейся в широких пределах в зависимости от температуры, плотности и упругости среды в которой они распространяются (табл. 2.1). В твердых телах скорость звука в несколько раз превышает скорость звука в газообразных средах.

Скорость звука не зависит от частоты звуковых колебаний и при неизменных параметрах среды является постоянной величиной. При увеличении температуры воздуха скорость звука также возрастает примерно на 0,71 м/с на 1 °С.

Таблица 2.1

Скорость звука, плотность в различных средах при 20 °С

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

Звуковое давление. В качестве меры интенсивности звуковой волны в определенной точке пространства обычно используют величину так называемого звукового давления p . Звуковое давление – переменная составляющая давления воздуха, возникающая в результате колебаний источника звука, накладывающаяся на атмосферное давление и вызывающая его флуктуации. Таким образом,

звуковое давление определяется как разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в среде при отсутствии источника звука.

Звуковое давление, изменяющееся во времени от нуля до максимальной величины, оценивают не мгновенной величиной, а среднеквадратичным значением за период колебания:

$$p^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt.$$

Осреднение во времени происходит в органе слуха за время 30–100 мс.

Звуковое давление представляет собой силу, действующую на единицу поверхности. Единица измерения звукового давления – паскаль (1 Па = 1 Н/м²).

Именно на изменение давления в воздухе реагируют наш орган слуха. Чем больше давление, тем сильнее раздражение органа слуха и ощущение громкости звука.

Интенсивность звука. При распространении звуковых волн распространяется и звуковая энергия. Мощность на единицу площади, передаваемая в направлении распространения звуковых волн, называется интенсивностью звука. В общем случае интенсивность звука I в Вт/м² определяется выражением

$$I = pv \cos \varphi,$$

где p – среднеквадратичное значение звукового давления, Па; v – среднеквадратичное значение колебательной скорости частиц в звуковой волне, м/с; φ – сдвиг фаз между колебательной скоростью и звуковым давлением. Если звуковая волна распространяется в свободном звуковом поле (при отсутствии отраженных звуковых волн), то

$$v = \frac{p}{\rho c},$$

где ρ – плотность среды, кг/м^3 ; c – скорость звука в среде, м/с. Величина ρc называется акустическим сопротивлением среды, $\text{Па}\cdot\text{с/м}$.

Для воздуха $\rho c = 410 \text{ Па}\cdot\text{с/м}$, для воды – $1,5\cdot 10^6 \text{ Па}\cdot\text{с/м}$, для стали – $4,8\cdot 10^7 \text{ Па}\cdot\text{с/м}$. Чем больше волновое сопротивление среды, тем меньше звуковой энергии теряется при распространении в ней звуковых волн, т.е. тем больше интенсивность звука.

Кроме того, в свободном звуковом поле звуковое давление и колебательная скорость находятся в фазе, и поэтому $\cos \varphi = 1$. Следовательно, интенсивность звука в свободном звуковом поле в направлении распространения звуковых волн может быть выражена через квадрат звукового давления:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}.$$

Величины интенсивности звука и звукового давления могут изменяться в очень широких пределах. Так, человек способен воспринимать звуковые давления в диапазоне от $2\cdot 10^2$ до $2\cdot 10^{-2} \text{ Па}$ (Н/м^2), отношение этих величин составляет 10^7 , по интенсивности – до 10^{16} раз. Использование таких сильно изменяющихся величин на практике неудобно, поэтому в технической акустике принято пользоваться относительной логарифмической шкалой уровней, которая позволяет резко сократить диапазон значений измеряемых величин. Уровни представляют собой отношение измеренной величины к выбранной пороговой величине, принятой за эталон сравнения. Это отношение, выраженное в десятичных логарифмах, называется белом в честь английского ученого Александра Белла изобретателя телефона. Ухо человека реагирует на величину в десять раз меньшую чем бел, поэтому на практике более удобной для вычисления единицей является десятая часть бела, равная 0,1 Б, т.е.

децибел (дБ). Каждому делению такой шкалы соответствует изменение интенсивности звука, звукового давления или другой величины не на определенное число единиц, а в определенное число раз.

Уровень интенсивности звука (в дБ) определяется по формуле

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0},$$

где I – абсолютное значение интенсивности звука, Вт/м²; $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – пороговая величина интенсивности, приближенно соответствующая интенсивности едва слышимого звука в частотной области наибольшей чувствительности слуха человека. Величина I_0 стандартизирована в международном плане.

Уровнями интенсивности обычно пользуются при выполнении акустических расчетов.

Уровень звукового давления. Как было показано выше, интенсивность звука пропорциональна квадрату эффективного значения звукового давления, поэтому уровень интенсивности можно определить также исходя из величины звукового давления:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \left(\frac{p^2 / \rho c}{p_0^2 / \rho c} \right) = 20 \lg \frac{p}{p_0} = L_p,$$

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

Вычисляемый по этой формуле уровень принято называть уровнем звукового давления (измеряется также в дБ). Для того чтобы уровни звукового давления соответствовали уровням интенсивности, нужно в качестве пороговой величины звукового давления принять значение $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, соответствующее пороговой интенсивности 10^{-12} Вт/м². Приборов для непосредственного измерения интенсивности звука в настоящее время еще не создано, поэтому на практике во всех случаях пользуются

приборами, измеряющими непосредственно уровни звукового давления.

Логарифмические единицы уровней являются не абсолютными, а относительными и поэтому безразмерными единицами. Однако после стандартизации порогового значения p_0 определяемые относительно него уровни звукового давления фактически стали абсолютными, так как они однозначно определяют соответствующие значения звукового давления.

Пользоваться шкалой децибел очень удобно, так как весь огромный диапазон слышимых звуков укладывается менее чем в 140 дБ (табл. 2.2). Это позволяет при оценке различных шумов пользоваться целыми числами в пределах от 0 до 140 дБ (от порога слышимости до болевого), так как изменения уровня меньше чем на 1 дБ практически не заметны на слух.

Таблица 2.2

Соотношение звуковых давлений, интенсивности и уровней звука

Звуковое давление, Па	$2 \cdot 10^2$	20	2	0,2
Интенсивность звука, Вт/м ²	10^7-10	$1-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-3}$	$10^{-4}-10^{-5}$
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

При уровнях звукового давления около 140 дБ нормальное слуховое восприятие уступает место ощущению физической боли в ухе. Это так называемый «болевого порог», превышение которого может привести к разрыву барабанной перепонки, т.е. к глухоте. Величина болевого порога, как и вообще чувствительность к шуму, неодинакова у различных людей.

Звуковая мощность. Звуковое давление и интенсивность звука являются характеристиками звукового поля в определенной точке пространства и не характеризуют непосредственно источник шума. Они зависят от места расположения точки измерения, направленности излучения, условий распространения звуковых волн. Характеристикой непосредственно источника шума является его звуковая мощность P – общее количество звуковой энергии, излучаемое источником шума в окружающее пространство за единицу времени через замкнутую поверхность, окружающую источник звука:

$$P = I \cdot S, \quad (2.1)$$

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

Единицей измерения звуковой мощности является ватт (Вт).

Уровень звуковой мощности L_P (дБ) определяют по формуле

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (2.2)$$

где P – звуковая мощность источника, Вт; P_0 – пороговая величина звуковой мощности, равная 10^{-12} Вт.

Из формул (2.1) и (2.2) 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, m^2 ; S_0 – условно выбранная нулевая площадь, равная $1 m^2$.

Частотный спектр. 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, таким образом, *спектр* представляет собой распределение уровней шума по частотам. 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 – 1,26 (табл. 2.3). Для удобства расчетов и измерений результаты частотного анализа принято относить к среднегеометрическим частотам октавных полос:

$$f = \sqrt{f_{\text{в}} f_{\text{н}}} = 2\sqrt{f_{\text{н}}^2} = 1,41f_{\text{н}},$$

где $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ – 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).

Спектры могут быть линейчатыми, непрерывными или смешанными (рис. 2.1). 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 машин, применяемых в машиностроении

и строительстве, имеют смешанный или сплошной широкополосный спектр.

Суммирование логарифмических величин. Уровни звукового давления или звуковой мощности являются логарифмическими величинами, поэтому над ними нельзя производить обычные арифметические действия, например, непосредственно складывать (сложение логарифмов чисел соответствует логарифму произведения, а не суммы этих чисел). Так, при одновременной работе двух насосов, каждый из которых в отдельности создает у пульта управления уровень шума 90 дБ, суммарный уровень при их одновременной работе составит 93 дБ, а не 180 дБ, как получилось бы при арифметическом суммировании. Непосредственно суммировать и вычитать можно только энергетические характеристики шума: интенсивность или пропорциональный ей (в свободном звуковом поле) квадрат звукового давления.

Таблица 2.3

**Граничные и среднегеометрические частоты (Гц)
октавных
и третьоктавных полос**

Граничные для полос		Среднегеометрические для полос	
октавных	третьоктавных	октавных	третьоктавных
45–90	45–56	63	50
	56–71		63
	71–90		80
90–180	90–112	125	100
	112–140		125
	140–180		160
180–355	180–224	250	200
	224–280		250
	280–355		315
355–710	355–450	500	400
	450–560		500
	560–710		630
710–1400	710–900	1000	800
	900–1120		1000
	1120–1400		1250

1400–2800	1400–1800	2000	1600
	1800–2240		2000
	2240–2800		2500
2800–5600	2800–3540	4000	3150
	3540–4500		4000
	4500–5600		5000
5600–11200	5600–7100	8000	6300
	7100–9000		8000
	9000–11200		10000

Если пользоваться непосредственно значениями уровней, то уровень звукового давления суммарного звука от нескольких источников, создающих в данной точке уровни звукового давления L_i , может быть рассчитан (в дБ) по формуле.

$$L_{\text{общ}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i},$$

где n – общее число независимых слагаемых уровней.

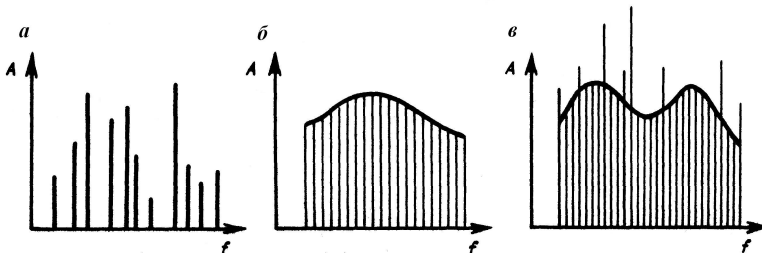


Рис. 2.1. Типы спектров шума:
a – линейчатый; *б* – непрерывный; *в* – смешанный

Этой же формулой можно пользоваться и для определения суммарного уровня звуковой мощности, излучаемой несколькими источниками. Суммарный уровень звукового давления при одновременном действии двух неодинаковых источников с уровнями L_1 и L_2 можно также определить (в дБ) по формуле

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

где L_1 – больший из двух суммируемых уровней, дБ; ΔL – поправка для суммирования уровней шума, определяемая по табл. 2.4.

Таблица 2.4

Поправка для суммирования различных уровней шума

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

Например, при наличии двух источников шума с $L_1 = 90$ дБ и $L_2 = 84$ дБ $L_1 - L_2 = 6$ дБ, а поправка $\Delta L = 1$ дБ. Следовательно, суммарный уровень шума двух указанных источников $L_{\text{общ}} = 90 + 1 = 91$ дБ. При большем числе неодинаковых источников шума суммирование производят последовательно, начиная с наиболее интенсивных источников.

Из данных табл. 2.4 следует, что если уровень звукового давления одного из источников превышает уровень другого более чем на 10 дБ, то с шумом более слабого источника можно не считаться, так как его вклад в общий шум будет менее 0,5 дБ.

Суммарный уровень шума 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 даны в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Поправка для суммирования одинаковых уровней шума

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

Приведенные выше зависимости позволяют сформулировать две закономерности, весьма важные для практики борьбы с шумом. Во-первых, для существенного снижения шума какой-либо машины в первую очередь необходимо выявить и заглушить в ней наиболее интенсивные источники шума. Это же правило справедливо и для производственного помещения в целом – там также необходимо выявить наиболее шумное оборудование и именно с него начинать работу по снижению шума в данном помещении. Во-вторых, при наличии большого числа одинаковых источников шума устранение одного-двух из них практически не ослабляет общего шума.

Шкала децибел не позволяет оценивать эффективность шумоглушащих устройств непосредственно в процентах, как это можно сделать, например, оценивая изменение освещенности. Такая оценка может быть сделана с точки зрения степени изменения физиологического ощущения громкости звука. На практике пользуются следующей ориентировочной зависимостью: изменение уровня звукового давления на каждые 10 дБ соответствует изменению громкости шума в 2 раза. Например, снижению уровня звукового давления на рабочем месте со 100 до 90 дБ соответствует снижение громкости шума в 2 раза, до 80 дБ – в 4 раза (в 2 раза и еще в 2 раза) и т.д. Эта же зависимость справедлива и при увеличении уровня звукового давления.

2.2. Воздействие шума на организм человека

Шум в зависимости от интенсивности, характера и продолжительности воздействия по-разному влияет на самочувствие и здоровье людей, приводит к снижению внимания, увеличивает число ошибок в работе, замедляет скорость психических реакций, в результате чего снижается производительность труда, ухудшается качество работы, возрастает частота производственных травм.

На рис. 2.2 представлена характеристика слухового восприятия человека с нормальным слухом. Предельное значение уровней звукового давления изображены двумя кривыми. Нижняя кривая соответствует порогу слышимости. За пороговое значение уровня звукового давления p_0 принят порог слышимости человека на частоте 1000 Гц ($L_p = 0$ дБ). Верхняя кривая соответствует порогу болевого ощущения ($L_p = 120-130$ дБ). Область на частотной шкале, лежащей между двумя кривыми, называется областью слухового восприятия.

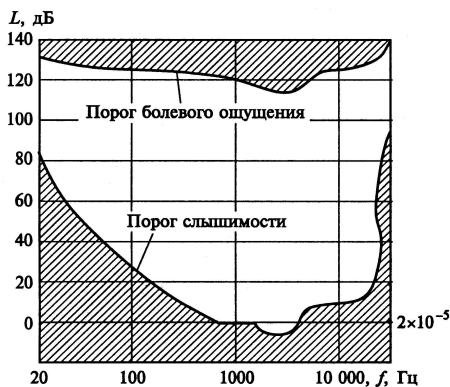


Рис. 2.2. Слуховое восприятие человека

Вредное воздействие шума может проявиться в угнетении центральной нервной системы; в изменении скорости дыхания и пульса; в нарушении обмена веществ;

в возникновении сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни; может привести к профессиональным заболеваниям. Из-за шума ежегодно теряется 5 % трудовых ресурсов, а при увеличении уровня шума на 10 дБ на 10–12 % снижается работоспособность и на 25 % повышается затрата на одного рабочего в год.

Шум с уровнем звукового давления 35–45 дБ является привычным для человека и не беспокоит его. Повышение уровня звукового давления до 45–70 дБ создает значительную нагрузку на нервную систему, воздействует на нее психологически. Наиболее часто такое явление наблюдается у людей, занятых умственной деятельностью. Вредное воздействие слабого шума на человеческий организм зависит от возраста, здоровья, физического и душевного состояния людей, вида труда, степени отличия от привычного шума, индивидуальных свойств организма.

Человеческое ухо в процессе восприятия шумов в зависимости от характера и силы адаптируется к ним. В процессе адаптации к сильным звуковым раздражителям чувствительность органа слуха к ним понижается, а после прекращения действия – восстанавливается. Если раздражающее действие чрезмерно сильное и длительное, наступает утомление. При этом чувствительность слуха значительно снижается. Утомление слуха, повторяясь изо дня в день, приводит к тому, что его восстановление оказывается неполным к периоду следующего воздействия. Это свидетельствует уже о состоянии переутомления, которое предшествует патологии и со временем к дегенерации внутреннего уха, являющейся анатомической основой профессиональной глухоты.

Длительное действие сильного шума свыше 80 дБА вызывает общее утомление, снижает слуховую чувствительность, выражающуюся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания

воздействия шума. При большей длительности или (и) интенсивности воздействия это может привести к профессиональной тугоухости, характеризуемой постоянным изменением порога слышимости, или глухоте, а при уровнях более 120 дБА – шумовой травме. Шумовые травмы, как правило, бывают связаны с влиянием высокого звукового давления (например, при взрывных работах). При этом у пострадавших отмечаются головокружение, шум и боль в ушах, может лопнуть барабанная перепонка.

Чаще изменение слуха происходит исподволь в течение 3–5 лет и более. Потеря слуха развивается у разных лиц в различной степени. Встречаются лица с повышенной чувствительностью к шуму. Женщины более чувствительны к его воздействию. Для производственной тугоухости особенно характерно ухудшение восприятия высоких тонов и в наибольшей степени – частоты 4000 Гц (табл. 2.6), что является основным признаком «тугоухости».

Степень снижения слуховой чувствительности прямо пропорциональна времени пребывания в шумной обстановке.

К профессиональной глухоте ведут также низко- и среднечастотные шумы большой интенсивности.

Для профессиональной потери слуха характерны медленное развитие процесса и постоянное прогрессирование с возрастом и стажем. Начальные стадии профессионального поражения наблюдаются у работников со стажем 5 лет, выраженные (поражение слуха на все частоты, нарушение восприятия шепотной и разговорной речи) – свыше 10 лет.

Таблица 2.6

Количественные потери слуха при профессиональной тугоухости

Степень потери слуха	Величины потерь слуха, дБ	
	на речевых частотах (среднее арифметическое значение на частотах 500, 1000 и 2000 Гц)	на частоте 4000 Гц
Признаки воздействия шума на орган слуха	Менее 10 500 Гц – 5 дБ 1000 Гц – 10 дБ 2000 Гц – 20 дБ	Менее 40
I степень (легкое снижение слуха)	10–20	60±20
II степень (умеренное снижение слуха)	30–31	65±20
III степень (значительное снижение слуха)	31 и более	70±20

Для оценки степени слухового утомления используют такой показатель, как «временный сдвиг порога слышимости» (ВСП). Обычно он означает потерю слуха в течение одного дня с восстановлением большей части спустя 1–2 ч после прекращения действия шума. Окончательное и полное восстановление слуховой чувствительности должно произойти в срок не менее 10 дней. Величина ВСП при повторных воздействиях шума более или менее постоянна. С увеличением силы шума и времени его действия ВСП возрастает. Наличие перерывов в действии шума ведет к уменьшению ВСП. На этом основано требование достаточных перерывов между проведением работ, связанных с действием интенсивного шума. Показателями слухового утомления являются величина ВСП и разность между определяемыми величинами ВСП при повторных воздействиях шума.

Помимо действия шума на орган слуха, установлено его повреждающее влияние на многие органы и системы организма, в первую очередь на центральную нервную систему, функциональные изменения в которой

происходят раньше, чем диагностируется нарушение слуховой чувствительности. Это проявляется в виде комплекса симптомов – раздражительности, ослабления памяти, апатии, подавленным настроением, изменением кожной чувствительности и т.д.

У лиц, подвергающихся действию шума, отмечаются изменения секреторной и моторной функций желудочно-кишечного тракта, сдвиги в обменных процессах (нарушения основного, витаминного, углеводного, белкового, жирового, солевого обменов).

Для операторов шумных профессий характерно нарушение функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Наличие симптомокомплекса, который заключается в сочетании профессиональной тугоухости (неврит слухового нерва) с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечно-сосудистой и других систем у лиц, работающих в условиях шума, дает веские основания рассматривать эти нарушения в состоянии здоровья как профессиональное заболевание организма в целом и включить в список профессиональных заболеваний как *шумовую болезнь*.

Для профилактической работы по обеспечению безопасных условий труда по шумовому фактору служит аудиометрический контроль работающих, проводимый для оценки состояния органов слуха. Проведение аудиометрического контроля и оценка его результатов осуществляется путем выявления состояния слуховой функции как среднеарифметического значения снижения порогов чувствительности в диапазоне речевых частот (500–2000 Гц) и на частоте 4000 Гц.

Проведение предварительных медицинских осмотров при поступлении на работу и периодических осмотров (в целях профилактики профессиональных заболеваний)

регламентируется федеральным законом «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» от 2.02.2006 г. № 23–ФЗ. Проведение при таких осмотрах или массовых обследованиях аудиометрического контроля позволяет выявить начальные формы нарушений слуховой функции у лиц с повышенной чувствительностью к шуму, своевременно принять меры по сохранению трудоспособности работающих.

Результаты проведенных обследований показывают, что тугоухость в последние годы выходит на ведущее место в структуре профессиональных заболеваний и не имеет тенденции к снижению.

2.3. Классификация шумов

Для учета интенсивности шума, его частотных и временных характеристик, продолжительности пребывания в шумных условиях в ГОСТ 12.1.003–88 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» дается классификация шумов, которая предусматривает их разделение по характеру спектра и по временным характеристикам.

По характеру спектра шумы подразделяются на широкополосные, с непрерывным спектром шириной более одной октавы; тональные, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона (рис. 2.3). Тональный характер шума устанавливается измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

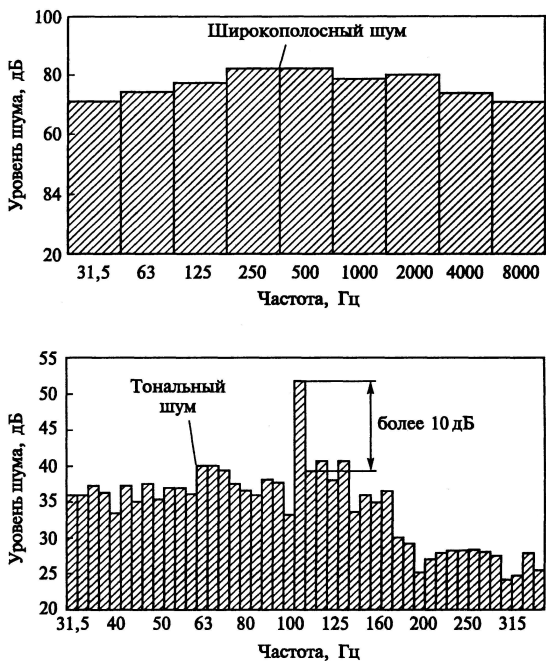


Рис. 2.3. Классификация шумов по характеру спектра

По временным характеристикам шумы подразделяются на: постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях по временной характеристике шумомера «медленно»; непостоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется по времени более чем на 5 дБА при измерениях по временной характеристике шумомера «медленно» (рис. 2.4).

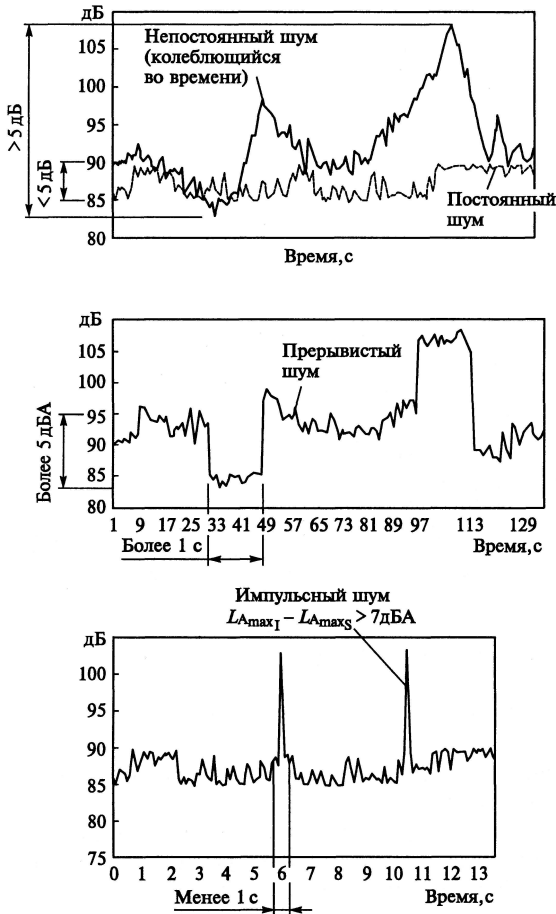


Рис. 2.4. Классификация шумов по временным характеристикам

Непостоянные шумы подразделяются на колеблющиеся во времени, уровень звука которых непрерывно изменяется во времени; прерывистые, уровень звука которых резко падает до уровня фонового шума, причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным и превышающим уровень фонового шума,

составляет 1 с и более; импульсные, состоящие из одного или нескольких звуковых сигналов каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука в дБА, измеренные при включении характеристик шумомера «медленно» и «импульс», отличаются не менее чем на 7 дБА.

К постоянным шумам относятся шумы постоянно работающих насосных, вентиляционных и компрессорных установок, а также инженерного и технологического оборудования промышленных предприятий (воздуходувок, испытательных стендов и др.).

К непостоянному колеблющемуся шуму относится шум автомобильного транспорта, к прерывистым шумам – шум железнодорожного транспорта, холодильных установок, а также некоторых постоянно работающих установок промышленных предприятий. К импульсным шумам можно отнести шум пневматических молотков, кузнечно-прессового оборудования, сваебойных машин.

2.4. Санитарно-гигиеническое нормирование уровней шума

При выполнении работ по борьбе с шумом осуществляется санитарное и техническое нормирование 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.

Нормируемой характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октавных полосах в дБ со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, определяемые по формуле

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0},$$

где p – среднеквадратичная величина звукового давления, Па; $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – пороговая величина среднеквадратичного звукового давления, Па.

Основная цель санитарного нормирования заключается в установлении научно обоснованных предельно допустимых величин шума, которые при ежедневном воздействии в течение 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. В качестве критерия нормирования используются предельно допустимые уровни шума (ПДУ). *Предельно допустимый уровень шума* – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Нормирование шума производится по комплексу показателей с учетом их значимости на основании СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» и ГОСТ 12.1.003–88 «ССБТ. Общие требования безопасности» (табл. 2.7). Воздействие шума на организм человека зависит от его 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 является основным для постоянных шумов. При этом нормируются уровни звуковых давлений в девяти октавных полосах от 31,5 до 8 000 Гц. Нормирование ведется для различных рабочих мест: конструкторских бюро, помещений управления, участков точной сварки, рабочих мест в производственных помещениях. Основано 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 (рис. 2.5).

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.

Таблица 2.7

Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на

**некоторых рабочих местах по ГОСТ 12.1.003–88
(извлечение)**

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий или теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управлений, рабочие комнаты	93	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Кабины наблюдения и дистанционного управления: - без речевой связи по телефону - с речевой связью по телефону	103	94	87	82	78	75	73	71	70	80
	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения и участки точной сборки, машинописное бюро	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов и вычислительных машин	107	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	110	99	92	86	83	80	78	76	74	85
Рабочие места		99	92	86	83	80	78	76	74	85

водителя	и											
обслуживающего												
персонала												

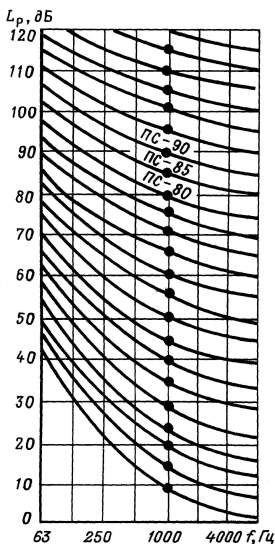


Рис. 2.5. Нормированные кривые предельного спектра

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 непостоянный. Для оценки и нормирования непостоянных шумов рекомендациями ИСО предложено пользоваться эквивалентным уровнем звука в дБА. Эквивалентный уровень звука при непостоянном шуме рассчитывается по формуле

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_i} \right),$$

где L_i – уровни шума, действующие в интервале времени t_i , дБА;

T – суммарная длительность всех циклов уровней шума (T

= $\sum t_i$, ч;
 t_i – длительность циклов шума, ч; $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – число циклов уровней шума.

Согласно руководству «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» 2.2.755–99 устанавливаются предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах в зависимости от различных категорий тяжести и напряженности трудовой деятельности (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах в зависимости от категории тяжести и напряженности трудового процесса в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1-й степени	Тяжелый труд 2-й степени	Тяжелый труд 3-й степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1-й степени	60	60	–	–	–
Напряженный труд 2-й степени	50	50	–	–	–

На основе предельных значений уровней звукового давления установлены санитарные нормы в большинстве промышленно развитых стран (России, Чехии, Германии, ПНР, ВНР, США, Франции, Канаде, Японии, Швейцарии, Финляндии и др.). В каждой из стран принят различный подход к оценке шума, вследствие чего существуют различные нормы (табл. 2.9).

Таблица 2.9

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, Чехия	103	95	90	87	85	82	80	79

В большинстве стран используются предельные спектры, рекомендованные ИСО (см. рис. 2.5). 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, ПНР, 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 C – отрезок времени, в течение которого рабочий подвергается воздействию шума определенного значения, мин; T – время воздействия данных уровней шума, нормируемых законом.

В Германии для оценки уровня шума используется 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 – 0,5 ч при непрерывном воздействии. В Великобритании кроме нормируемого спектра также регламентировано время воздействия: 90 дБА не выше 8 ч; 95 дБА – 2,5ч; 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.

В России также в соответствии с международным стандартом ИСО 2631–74 установлены нормы, учитывающие три способа нормирования шума.

2.5. Техническое нормирование шума

Техническим нормированием шума называется ограничение шумовых характеристик машин и оборудования непосредственно как источников шума.

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 значения для рабочих мест. 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.

2.5.1. Технические нормы шума отдельных видов машин

В настоящее время наиболее детально разработаны технические нормативы на шум электрических машин. ГОСТ 16372–77 «Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума» 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 $d = 1$ м от контура электродвигателя, обозначаемый LA_{dl} , 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: 1; 2; 3; 4.

К первому классу (1) относятся машины нормального исполнения постоянного, переменного тока – асинхронные, синхронные, коллекторные.

Машины с малошумными подшипниками, со специальными малошумными вентиляторами относятся ко второму классу (2).

Третий класс (3) 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 (4).

Допустимые скорректированные уровни звуковой мощности для электрических машин класса 1 при степени защиты IP-44 в режиме холостого хода не должны превышать значений, указанных в табл. 2.10.

Допустимые скорректированные уровни звуковой мощности для электрических машин класса 1 при степени защиты IP-22 в режиме холостого хода не должны превышать значений, указанных в табл. 2.11.

Допустимые значения уровней шума должны быть ниже указанных в табл. 2.12 или 2.13: для машин класса 2 – на 5 дБА; для машин класса 3 – на 10 дБА; для машин класса 4 – не менее чем на 15 дБА.

В стандартах или технических условиях на конкретные типы машин должны быть указаны класс машины по уровню шума, или допустимый уровень звука, или скорректированный уровень звуковой мощности.

Таблица 2.10

Допустимые скорректированные уровни звуковой мощности для электрических машин класса 1 при степени защиты IP-44

Номинальная мощность, кВт	<i>L_{PA}</i> дБА					
	Для номинальных частот вращения об/мин					
	от 600 до 900	св. 900 до 1320	св.1320 до 1900	св.1900 до 2360	св. 2360 до 3150	св. 3150 до 3750

1. Св. 0,25 до 1,1	76	79	80	83	84	88
2. » 1,1 » 2,2	79	80	83	87	89	91
3. » 2,2 » 5,5	82	84	87	92	93	95
4. » 5,5 » 11	85	88	91	96	97	100
5. » 11 » 22	89	93	96	98	101	103
6. » 22 » 37	91	95	97	100	103	105
7. » 37 » 55	92	97	99	103	105	107
8. » 55 » 110	96	101	104	105	107	109
9. » 110 » 220	100	104	106	108	110	112
10. » 220 » 400	102	106	109	111	112	114
11. » 400 » 630	104	108	111	113	114	116
12. » 630 » 1000	106	110	113	115	116	118

Таблица 2.11

Допустимые скорректированные уровни звуковой мощности для электрических машин класса 1 при степени защиты IP-22

Номинальная мощность, кВт	L_{Ad1} , дБА					
	Для номинальных частот вращения об/мин					
	от 600 до 900	св.900 до 1320	св.1320 до 1900	св.1900 до 2360	св. 2360 до 3150	св. 3150 до 3750
Св. 0,25 до 5,5	78	81	85	88	91	94
» 5,5 » 11	82	85	88	91	94	97
» 11 » 22	86	89	92	94	97	100
» 22 » 37	89	92	94	96	99	102
» 37 » 55	90	94	97	99	101	104
» 55 » 110	94	97	100	102	104	106
» 110 » 220	98	100	103	105	107	108
» 220 » 400	100	104	106	107	108	110
» 400 » 630	103	106	108	109	110	111
» 630 » 1000	105	108	110	111	112	113

Технические нормы шума, создаваемого металлообрабатывающими станками при работе их на холостом ходу в установившемся режиме, устанавливает отраслевой стандарт ОСТ2 Н89-40–75.

В качестве нормируемых величин для оценки шума опытных образцов (партии) станков здесь устанавливаются: октавные уровни звуковой мощности L_p

в дБ; скорректированный уровень звуковой мощности L_{PA} в дБА.

Таблица 2.12

**Допустимые уровни звуковой мощности
металлообрабатывающих станков**

Суммарная номинальная мощность приводов, кВт	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Скорректированный уровень звуковой мощности L_{PA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Октавные уровни звуковой мощности L_p , дБ								
До 1,5	96	89	83	80	77	75	73	71	82
Св. 1,5 до 4	103	96	91	88	85	83	81	80	90
» 4 » 12,5	107	101	97	93	91	89	87	86	96
» 12,5 » 40	112	106	102	99	97	95	93	92	102
» 40	117	112	108	105	103	101	99	98	108

Таблица 2.13

Октавные уровни звукового давления дизелей с глушителями

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Предельно допустимые уровни звукового давления, дБ	114	106	103	97	97	96	96	95

Нормируемой величиной для оценки шума станков единичного и серийного производства является скорректированный уровень звуковой мощности L_{PA} в дБА.

Предельные октавные уровни звуковой мощности и скорректированный уровень звуковой мощности устанавливаются для конкретной модели станка в зависимости от номинальной суммарной мощности приводов, одновременно работающих в процессе рабочего цикла, в соответствии с табл. 2.12.

Для станков токарной, сверлильно-расточной и фрезерной групп при наибольшей частоте вращения свыше 2000 до 6000 об/мин данные таблицы следует увеличить на 3 дБ, а при частоте вращения свыше 6000 об/мин – на 5 дБ.

Установленные выше предельные значения распространяются на станки классов точности Н и П. Соответствующие значения для станков классов точности В и А должны быть уменьшены на 3 дБ (дБА), а для станков класса С – на 5 дБ (дБА).

Для тяжелых станков, состоящих из нескольких самостоятельных, не одновременно действующих узлов, предельные значения шумовых характеристик устанавливаются для каждого узла.

Для автоматических линий, состоящих из нескольких станков, предельные значения шумовых характеристик определяются для каждого станка отдельно.

С 1978 г. впервые введены требования по ограничению шума дизелей с номинальной мощностью до 250 л.с., предназначенных для установки на тракторы и сельскохозяйственные самоходные машины (ОСТ 23.1.446–76) (Стандарт не распространяется на дизель Д-180 и его модификации).

Уровень звука дизелей с жидкостным охлаждением и рядным расположением цилиндров на расстоянии 1 м от наружного контура не должен превышать величин, определяемых по номограмме на рис. 2.6.

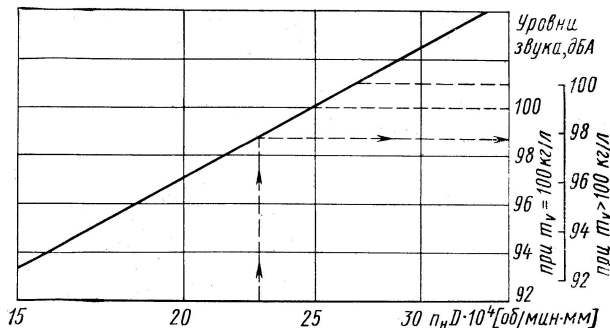


Рис. 2.6. Номограмма для предельных уровней звука для дизелей с жидкостным охлаждением и рядным расположением цилиндров:
 n_n — частота вращения коленчатого вала на номинальном скоростном режиме, об/мин; D — диаметр цилиндра, мм; m_v — литровая масса дизеля без вентилятора воздухоочистителя, глушителя шума всасывания, компрессора, генератора, глушителя, выхлопной трубы, муфты сцепления, гидронасосов, глушителя пускового двигателя, уравновешивающего механизма и пускового устройства, кг/л

Допускается превышение значений уровня звука, определяемых номограммой, для дизелей с воздушным охлаждением на – 2 дБА; для дизелей Д-160 и его модификаций – на 5 дБА.

Предельный уровень звука V-образных дизелей с жидкостным охлаждением должен быть на 2 дБА меньше величин, определяемых номограммой. При этом уровень звука во всех случаях не должен превышать 100 дБА.

Октавные уровни звукового давления при выпуске отработавших газов дизелей с глушителями не должны превышать значений, указанных в табл. 2.13. Измерения при этом проводятся на расстоянии 0,25 м от среза трубы выхлопа под углом 60° к оси потока.

Допускается не более чем в двух октавных полосах превышение на 2 дБ приведенных величин, при этом уровень звука не должен превышать 104 дБА.

Разработаны технические нормы (ОСТ 2 Н88-1-74) шума для оборудования объемных гидроприводов и смазочных систем, которые устанавливают допустимые

уровни звука на расстоянии 1 м от наружного контура. Предельные значения уровней звука насосов для объемных гидроприводов и смазочных систем приведены в табл. 2.14. Оборудование при измерениях должно быть установлено в рабочем положении. Способ установки должен исключать искажение результатов за счет передачи на оборудование посторонних вибраций, а также передачи вибраций от испытуемого оборудования к другим конструктивным элементам, могущим стать источником звуковых помех.

Введение научно обоснованных технических норм шума машин в стандарты, нормали и технические условия ускорит разработку мероприятий, снижающих шум, и сделает эти машины конкурентоспособными не только по технико-экономическим показателям, но и по уровню создаваемого ими шума.

2.5.2. 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.

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. 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.

Таблица 2.14

Допустимые уровни звука для насосов

Типы насосов	Номинальная подача, л/мин	Номинальная частота вращения, об/мин	Номинальное давление, кгс/см ²						
			До 25	Св. 25 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500
			Предельные значения уровней звука, дБА						
Шиберные	До 35	До 1000	–	77	–	–	–	–	–
	Св. 35 » 100		–	82	–	–	–	–	–
	» 100 » 200		–	85	–	–	–	–	–
	До 18	До 1500	–	77	82	82	–	–	–
	Св. 18 до 25		–	82	–	82	–	–	–
	» 25 » 35		–	–	–	82	–	–	–
	» 35 » 50		–	82	–	85	–	–	–
	» 50 » 100		–	85	–	87	–	–	–
» 100 » 200	–	87	–	90	–	–	–		
Шестеренные	До 35	До 1500	77	82	82	85	–	–	–
	Св. 35 до 100		82	85	85	–	–	–	–
	» 100 » 200		85	–	–	–	–	–	–
Поршневые	До 35	До 1500	–	–	–	–	–	87	87
	Св. 35 до 100		–	82	–	87	87	92	–
	» 100 » 200		–	85	87	87	92	92	–
	» 200 » 400		–	–	92	–	97	97	–
	Св. 400	До 1000	–	–	–	90	–	–	–

В соответствии с ГОСТ 12.1.050–86 (2001) «ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах» 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, междудементальных, периодических, предварительных и приемо-сдаточных испытаниях.

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 (конвейеры, спиральные классификаторы), 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. 2.7).

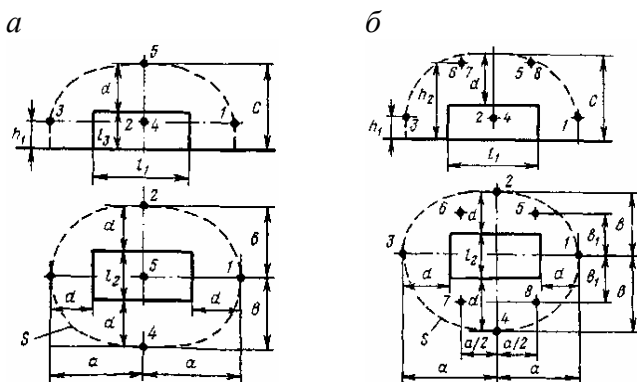


Рис. 2.7. Схемы расположения пяти (а) и восьми (б) точек для определения шумовых характеристик машин

Характерные размеры измерительной поверхности вычисляют по формулам:

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

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 (м^2) измерительной поверхности

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

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

$$L_m = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right) - K,$$

где L_i – уровень звукового давления в полосе частот (дБ) или уровень звука (дБА) в i -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 производственном помещении.

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, м²; A – эквивалентная площадь звукопоглощения, м².

Эквивалентная площадь звукопоглощения приближенно вычисляется по формуле

$$A = \alpha_s S_v,$$

где S_v – площадь ограждающих поверхностей в помещении, включая пол и потолок, м²; α_s – средний коэффициент звукопоглощения, зависящий от вида помещений (для производственных помещений принят равным 0,15).

Величину K можно также определить по номограмме (рис. 2.8) в зависимости от отношения S/S_v 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:

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

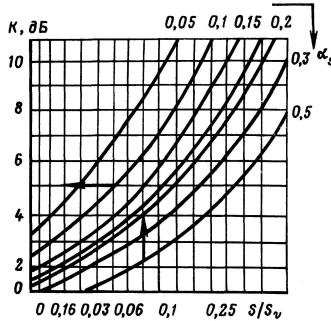


Рис. 2.8. Номограмма для определения постоянной K в помещении

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 источника 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.

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.

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», заносая 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 предприятия соблюдение норм шума, регламентированных стандартом.

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

$$L_p = L_i + 10 \lg \frac{S}{S_0} - \Delta L, \quad (2.3)$$

где L_i – предельно допустимый уровень звукового давления в i -й октаве, установленный для рабочих мест по ГОСТ 12.1.003–88; ΔL – поправка, учитывающая групповую установку машины и влияние технологической нагрузки (принимается равной 5 дБ).

Для машин, габариты (длина l , ширина l_2 , высота l_3) которых не превышают $5 \times 5 \times 5$ м, величина ПДШХ без учета поправки ΔL может быть ориентировочно определена по номограмме (рис. 2.9). 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.

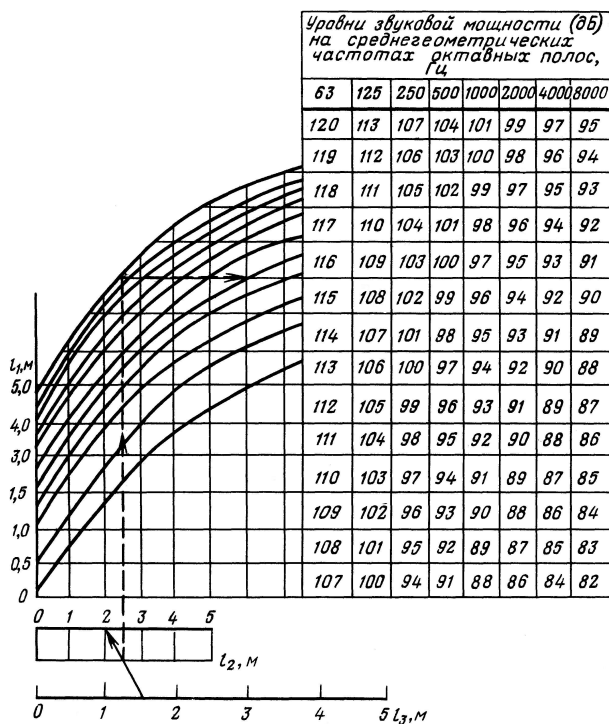


Рис. 2.9. Номограмма для определения величины предельно допустимой шумовой характеристики машины (ПДШХ)

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 (2.3) 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.

Практическое определение шумовых характеристик машин осуществляется по следующим четырем методам.

Определение шумовых характеристик машин по методу I. Для измерения шума в заглушенной камере (с отражающим полом), а также в помещении с большим звукопоглощением и в свободном пространстве машину необходимо устанавливать в середине жесткого пола на фундаменте или по возможности на поворотном устройстве (рис. 2.10). Точки измерения должны быть расположены на полусферической измерительной поверхности, а главная ось микрофона направлена в центр поверхности. Центр измерительной поверхности должен примерно совпадать с проекцией геометрического центра машины на пол камеры. При полусферическом излучении следует выбрать 8 точек измерения. Расположение точек измерения показано на рис. 2.11.

При измерении в заглушенной камере (с поглощающим полом) машина должна быть размещена так, чтобы точки измерения были расположены по сферической измерительной поверхности. Центр измерительной поверхности должен примерно совпадать с геометрическим центром машины, а главная ось микрофона – проходить через центр измерительной поверхности. При сферическом излучении следует выбрать 16 точек измерения.

Минимальное расстояние от поверхности машины до измерительной сферы или полусферы не должно быть менее $2l_{max}$ (l_{max} – наибольший размер машины) и не менее

0,25 м. Расстояние от измерительных точек до звукопоглощающей облицовки не должно быть менее 1 м. Если разность между наибольшим и средним уровнями на измерительной поверхности превышает 5 дБ, то число то число измерения должно быть удвоено (16 на полусферической поверхности и 32 на сферической поверхности).

Измерение характеристики направленности должно проводиться при непрерывном вращении или через каждые 30° поворота машины либо микрофона, при неизменном расстоянии между точкой измерения и осью вращения. Если уровень сигнала колеблется во времени более чем на ± 3 дБ, то в каждой точке измерения микрофон должен оставаться на время, достаточное для определения эквивалентного уровня.

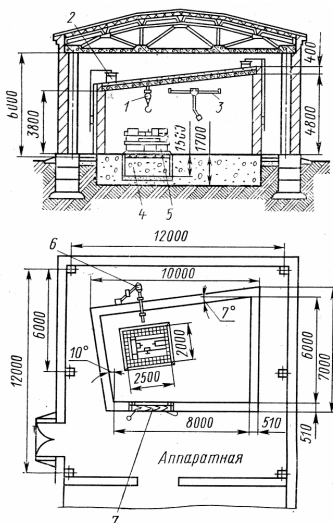


Рис. 2.10. Конструкция и размещение реверберационной камеры для измерения шумовых характеристик машин (тип I по ГОСТ 8.055-73):

1 – электродвигатель; 2 – люки

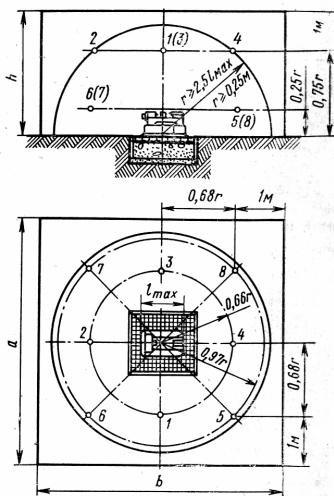


Рис. 2.11. Схема расположения точек измерения на полусфере при испытании машин в заглушенной камере с отражающим полом

естественной вентиляции; 3 – тележка для перемещения микрофона; 4 – виброизолированный фундамент; 5 – испытываемая машина; 6 – внешний привод; 7 – входная дверь

Октавный уровень звуковой мощности L_p (в дБ) вычисляется по формуле

$$L_p = L_m + 10 \lg \frac{S}{S_1},$$

где L_m – средний октавный уровень звукового давления на измерительной поверхности в данной октаве, дБ; S – площадь измерительной поверхности, м^2 ; $S_1 = 1 \text{ м}^2$.

Определение шумовых характеристик по методу II.

При измерении в реверберационной камере машина должна быть установлена на фундаменте. Расстояние от наружного контура машины до ограждающих поверхностей камеры не должно быть менее 1 м, в обоснованных случаях допускается меньшее расстояние.

Размещение измерительных точек и машины в реверберационной камере показано на рис. 2.12. При измерениях микрофон не должен быть ориентирован в направлении источника шума.

Октавный уровень звуковой мощности L_p (в дБ) вычисляется по формуле

$$L_p = L_m + 10 \lg \frac{A}{A_1} - 6 + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_v \lambda}{8V}}{1 - \frac{A}{S_v}},$$

где L_m – средний октавный уровень звукового давления, дБ; A – эквивалентная площадь звукопоглощения для данной октавы, м^2 ; $A_1 = 1 \text{ м}^2$, S_v – площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 ; V – объем помещения, м^3 ; λ – длина волны, соответствующая среднегеометрической частоте октавы, м.

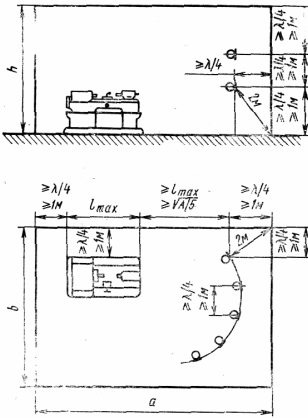


Рис. 2.12. Схема установки испытываемой машины и размещение точек измерения в реверберационной камере

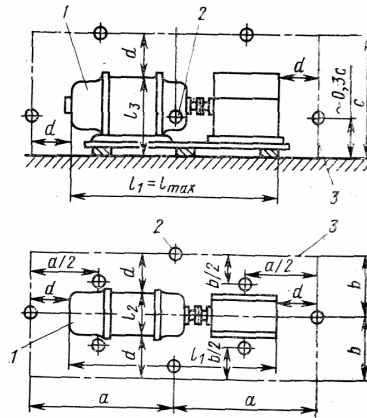


Рис. 2.13. Расположение измерительных точек и машины при измерении на расстоянии $d = 1$ м от наружного контура:

1 – машина; 2 – измерительные точки; 3 – измерительная поверхность

Определение шумовых характеристик машин по методу III. Машина должна быть установлена в помещении так, чтобы наружная ее поверхность была не ближе 1 м от ограждающих поверхностей помещения. Точки измерения выбираются в зависимости от того, приближается ли звуковое поле в помещении к свободному или отраженному полю.

Октавные уровни звукового давления определяют в измерительных точках при включенной машине и вычисляют средние значения уровней. Затем вместо машины устанавливают образцовый источник шума. Если машина не может быть при этом убрана, то образцовый источник помещают в непосредственной близости от нее сверху. Измеряют октавные уровни звукового давления в тех же измерительных точках и вычисляют средние значения уровней.

Октавный уровень звуковой мощности машины L_P (в дБ) рассчитывается по формуле

$$L_p = L_m - L_{mR} + L_{PR},$$

где L_m – измеренный средний октавный уровень звукового давления для машины, дБ; L_{mR} – измеренный средний октавный уровень звукового давления для образцового источника шума, дБ; L_{PR} – октавный уровень звуковой мощности согласно паспорту образцового источника, дБ.

Определение шумовых характеристик машин по методу IV. Машина должна быть установлена так, чтобы наружная поверхность машины находилась не ближе 2 м от ограждающих поверхностей.

Микрофоны должны быть расположены равномерно на измерительной поверхности, соответствующей наружному контуру машины (рис. 2.13). Расстояние точек измерения от наружного контура машины должно составлять $1_{-0,1}^{+0,5}$ м. При определении наружного контура отдельные выступающие части машины, не создающие шум, не должны учитываться.

Число точек измерения должно быть выбрано так, чтобы разность уровней в соседних точках не превышала 5 дБ, но не менее 8 точек при полусферическом излучении и не менее 10 точек при сферическом излучении, если в стандартах на машину нет других указаний.

Октавный уровень звуковой мощности L_p (дБ) вычисляют по формуле

$$L_p = L_{m1} + 10 \lg \frac{S}{S_1},$$

где L_{m1} – средний октавный уровень звукового давления в данной октаве на измерительной поверхности, расположенной на расстоянии 1 м от наружного контура машины, дБ; $S = \pi a(b + c)$ – площадь измерительной поверхности, м² (величина a , b , c указаны на рис. 2.13); $S_1 = 1 \text{ м}^2$.

2.5.3. Измерение шумовых характеристик конкретных видов машин

В настоящее время на основе общих методов измерений разработаны и стандартизованы методы измерения шумовых характеристик некоторых конкретных видов машин с учетом их специфики. Эти методы являются развитием ГОСТ 8.055–73, а также соответствующих международных стандартов и рекомендаций.

Так, методы измерения шумовых характеристик машин для текстильной промышленности регламентируются стандартом СЭВ 401–76, компрессоров или первичных двигателей, устанавливаемых на открытых площадках, – международным стандартом ИСО 2151–72, электрических машин – стандартом СЭВ 828–77, вентиляторов – ГОСТ 12.2.028–77, самоходных сельскохозяйственных машин – ГОСТ 16529–70.

Шумовые характеристики машин. Шумовые характеристики различных видов оборудования, полученные экспериментально (методами, регламентируемыми ГОСТ 8.055–73), приведены в виде табличных данных уровней звуковой мощности в октавных полосах частот.

Уровни звуковой мощности оборудования метизного, литейного и сталеплавильного производств приведены в табл. 2.15, деревообрабатывающего оборудования – в табл. 2.16, всасывающих и выхлопных воздухопроводов компрессоров и компрессорных агрегатов (излучение в машинный зал) – в табл. 2.17.

Таблица 2.15

Уровни звуковой мощности производственного оборудования

типа ЗМ634	105	99	101	100	105	105	97	84
подвесной типа ЗЗ74К	95	92	94	97	99	95	85	70
Молоток типа МР-5 для обработки внутренних поверхностей изложниц	115	119	115	113	109	103	97	83

Окончание табл. 2.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сталеплавильное производство								
Электросталеплавильные цехи								
Печь емкостью 5 т:								
период плавления	118	119	112	116	111	103	97	85
окислительный период	107	117	110	112	105	98	93	83
восстановительный период	104	112	106	108	106	99	94	82
Печь емкостью 10т:								
период плавления	120	133	119	120	117	99	95	85
окислительный период	117	128	114	109	109	102	94	90
восстановительный период	116	125	109	104	98	98	92	88
Печь емкостью 40т:								
период плавления	122	133	117	123	119	115	98	93
окислительный период	111	119	108	114	110	104	95	91
восстановительный период	110	119	105	104	98	91	79	74
Печь емкостью 100т:								
период плавления	126	125	120	113	115	110	109	109
окислительный период	115	121	117	114	113	104	101	100
восстановительный период	115	114	111	107	101	97	92	85
Мартеновские цехи:								
Печь емкостью 200 т								
период плавления	104	105	104	102	95	89	86	83
Печь емкостью 300 т								
период плавления	108	106	104	105	100	95	93	90
Печь емкостью 400т:								
завалка шихты	103	103	101	89	91	90	83	77
плавнение	98	99	100	96	91	93	84	78
доводка	106	105	102	104	101	95	88	85
Завалочная машина								
период плавления	101	106	111	109	101	91	77	75
Разливка стали								
период плавления	95	104	102	98	93	85	83	81
Разливочный кран								
период плавления	96	100	101	97	93	83	77	75
Магнитный кран								
период плавления	96	101	101	91	78	76	74	73
Конвертор емкости, т:								
100								
период плавления	95	100	103	107	107	107	103	96
350								
период плавления	103	103	107	104	107	102	95	81
Разливное устройство								
период плавления	98	99	95	92	86	84	74	65
Камерные печи для нагрева ферросплавов								
период плавления	101	102	103	103	98	87	83	65
Вентилятор подачи воздуха в конвертор								
период плавления	110	113	121	119	118	117	117	114
Экстаустер								
период плавления	90	94	97	101	95	92	79	74
Циркуляционные насосы								
период плавления	103	99	97	99	101	104	94	86

Таблица 2.16

Уровни звуковой мощности деревообрабатывающих станков

Тип станков	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звуковой мощности, дБ							
Рейсмусовые	111±9	111±9	119±7	122±7	124±8	123±7	122±8	107±8
Фуговальные	112±4	119±8	109±6	108±5	106±5	102±7	94±7	87±8
Циркулярные пилы	96±7	96±5	97±4	100±5	104±8	110±9	116±10	112±9
Фрезерные	93±5	95±7	98±6	102±7	102±7	101±8	95±6	93±6
Ленточные пилы	97±4	100±6	101±4	97±4	99±5	99±4	99±3	106±3
Кромкофуговальные	98±4	102±8	101±6	99±6	108±7	105±4	100±7	87±4

Таблица 2.17

Уровни звуковой мощности компрессоров

Тип компрессора	Диаметр воздуховода, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		Уровни звуковой мощности, дБ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Всасывающие воздуховоды от компрессоров низкого давления									
ВП-10/8	180-250	120	117	104	102	97	90	86	84
2ВП-10/8	180-250	120	117	104	102	97	90	86	84
200В-10/8	180-250	120	117	104	102	97	90	86	84
ВП-20/8	180-250	119	118	109	102	94	87	83	83
160В-20/8	180-250	119	118	109	102	94	87	83	83
205В-30/8	300	121	127	117	108	100	94	90	89
ВП-50/8	400	122	124	115	110	99	98	94	92
5Г-100/8	400	124	112	101	98	99	96	91	85
2СА-25	250	111	106	96	95	87	80	76	76
2СГ-50	250	110	108	102	97	85	86	78	75
Всасывающие воздуховоды от компрессоров высокого давления и турбокомпрессоры									
2РК-1,5/220	50	105	103	97	86	80	75	71	69
2Р-3/220	100	105	103	97	86	80	75	71	69
3Р-7/220	150	105	103	97	86	80	75	71	69
5Г-14/220	200	100	95	84	81	75	72	67	55
3Г-100/220	600	119	110	107	100	92	85	77	69

50Т-130/200	600	119	110	107	100	92	85	77	69
2РВ-3/350	180	110	111	96	91	86	82	77	75
2РВ-3,4/400	200	116	119	109	92	87	86	83	79
К-250-61	600	84	79	83	82	94	99	98	89
ОК-500-92	900	102	110	95	96	104	111	107	98
Выхлопные воздухопроводы от компрессоров низкого давления									
ВП-10/8	70	112	112	92	95	109	110	105	106
200В-10/8	70-90	112	112	92	95	109	110	105	106
ВП-20/8	90	104	111	104	102	110	107	105	103

Окончание табл. 2.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
160В-20/8	90-150	104	111	104	102	110	107	105	103
205В-30/8	90	106	108	117	118	115	109	106	107
5Г-100/8	100	107	105	104	114	123	126	128	127
2СА-25	70	103	97	96	93	96	102	110	112
2СГ-50	70	124	117	114	107	116	124	129	124
Выхлопные воздухопроводы от компрессоров высокого давления и турбокомпрессоров									
2РК-1,5/220	25-40	110	106	113	122	131	130	132	132
2Р-3/220	50	108	112	117	122	128	128	127	126
3Р-7/220	50	103	115	118	121	125	126	120	117
5Г-14/220	80	108	112	117	123	128	128	127	126
3Г-100/220	100	111	113	122	132	143	141	138	136
50Т-130/200	100	106	110	121	127	134	135	136	136
2РВ-3,4/400	25	108	112	109	109	115	118	121	124
К-250-61	250	119	117	120	124	124	130	133	130
ОК-500-92	350	122	132	128	126	128	133	128	122
К-345-91	200	127	130	129	132	140	141	140	38
Компрессорные агрегаты (излучения в машинный зал)									
160В-20/8	-	86	97	95	93	90	90	80	80
ВП-50/8		93	102	99	98	96	92	86	86
5Г-100/8		99	98	96	97	98	90	85	76
2РВ-3/350		84	91	90	90	91	86	80	80
3Г-100/220		93	95	93	93	96	85	77	72
ОК-500-92		108	116	112	112	115	121	120	105

2.6. Методы и средства защиты от шума

В соответствии с ГОСТ 12.1.003–88 защита от шума должна достигаться разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029–80 (2001) и применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051–87 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования и методы испытаний», а также

строительно-акустическими методами. Меры по защите от шума должны приниматься при разработке технологических процессов, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места.

Средства и методы защиты от шума, применяемые на рабочих местах производственных и вспомогательных помещений, на территории промышленных предприятий, в помещениях жилых и общественных зданий, а также на селитебной территории городов и населенных пунктов, по отношению к защищаемому объекту подразделяются на средства и методы коллективной защиты (рис. 2.14) и средства индивидуальной защиты.



Рис. 2.14. Виды средств коллективной защиты от шума

Средства коллективной защиты по отношению к источнику возбуждения шума подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта (табл. 2.18).

Таблица 2.18

Классификация средств защиты по отношению к источнику возбуждения шума

Классификация средств защиты по отношению к источнику возбуждения шума					
Средства, снижающие шум в источнике его возникновения				Средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до	
В зависимости от характера воздействия				В зависимости от среды	
Снижающие возбуждение шума		Снижающие звукоизлучающую способность источника шума		средства, снижающие передачу воздушного шума	средства, снижающие передачу структурного шума
В зависимости от характера шумообразования					
снижающие шум вибрационного (механического) происхождения	снижающие шум аэродинамического происхождения	снижающие шум электромагнитного происхождения	снижающие шум гидродинамического происхождения		

Наиболее эффективными являются технические меры защиты от шума: уменьшение шума в источнике; применение технологических процессов, при которых уровни звукового давления на рабочих местах не превышают допустимые уровни; применение дистанционного управления шумными машинами и др.

Средства, снижающие шум в источнике его возникновения, в зависимости от характера воздействия подразделяются на средства, снижающие возбуждение шума, и средства, снижающие звукоизлучающую способность источника шума.

Средства, снижающие шум в источнике его возникновения, в зависимости от характера шумообразования подразделяются на средства, снижающие шум вибрационного (механического) происхождения, аэродинамического и гидродинамического происхождения, электромагнитного происхождения.

Средства, снижающие шум на пути его распространения, в зависимости от среды подразделяются на средства, снижающие передачу воздушного шума, и средства, снижающие передачу структурного шума.

Средства защиты от шума в зависимости от использования дополнительного источника энергии подразделяются на пассивные, в которых не используется дополнительный источник энергии, и активные, в которых используется дополнительный источник энергии.

Средства коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические.

В зависимости от использования дополнительного источника энергии средства защиты от шума в свою очередь подразделяются на пассивные, в которых не используется дополнительный источник шума, и активные, в которых используется дополнительный источник энергии.

Средства и методы коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации защиты и их классификация представлены в табл. 2.19.

Средства коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические.

Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия подразделяются на средства звукоизоляции, средства звукопоглощения, средства виброизоляции, средства демпфирования и глушители шума.

Таблица 2.19

Классифика

Средства и методы	Организационно-технические методы	<p>1) применение малошумных технологических процессов;</p> <p>2) оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;</p> <p>3) применение малошумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц;</p> <p>4) совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;</p> <p>5) использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях</p>
-------------------	-----------------------------------	---

Архитектурные планировочные методы					
Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия					
средства звукоизоляции	средства звукопоглощения	средства виброизоляции	средства демпфирования	глушители шума	1) рациональные акустические решения планировок зданий и генеральных планов объектов; 2) рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов; 3) рациональное размещение рабочих мест; 4) рациональное акустическое планирование зон и режима движения транспортных средств и транспортных потоков; 5) создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека
В зависимости от конструкции			по характеру демпфирования	по принципу действия	
1) звукоизолирующие ограждения зданий и помещений; 2) звукоизолирующие кожухи; 3) звукоизолирующие кабины; 4) акустические экраны, загородки	1) звукопоглощающие облицовки; 2) объемные (штучные) поглотители звука	1) виброизолирующие опоры; 2) упругие прокладки; 3) конструкционные разрывы	1) линейные; 2) нелинейные в зависимости от вида демпфирования	1) абсорбционные 2) реактивные (рефлексные); 3) комбинированные	

Для решения вопросов о необходимости и целесообразности снижения шума необходимо знать уровни шума на рабочих местах.

Шумы очень высокой интенсивности, превышающие норму на 40 дБА и более, в производствах достаточно редки. Они имеют место при обрубке швов внутри замкнутых

металлических емкостей, наклепе на автоматических станках, взрывных технологических процессах и на отдельных испытательных стендах.

Шумы, превышающие норму на 30 дБА, наиболее часто встречаются на металлургических и машиностроительных предприятиях и связаны с работой пневматических ручных машин, кузнечно-прессовых машин, с процессами забивки и формовки в литейных цехах, на испытательных стендах и др.

Шумы, превышающие норму на 20 дБА, характерны для многих цехов и участков металлургических и машиностроительных предприятий, ткацкого производства, деревообработки.

Шумы, превышающие норму на 5–15 дБА, характерны для многих отраслей промышленности, и в первую очередь для машиностроения и строительной промышленности.

С точки зрения эмиссии наиболее шумоопасными являются практически все виды ручных машин, большинство видов кузнечно-прессового и деревообрабатывающего оборудования, все ткацкие, прядильные, крутильные и гребеночесальные машины текстильной промышленности. Для ряда конкретных видов машин и технологического оборудования возможно добиться снижения шума непосредственно в источнике, предусмотрев необходимые средства шумоглушения.

Для ориентировочной оценки «акустического совершенства» машины можно использовать отношение звуковой мощности, излучаемой машиной, к общей мощности машины (ее «акустический КПД»). Если излучаемая мощность составляет 10^{-5} от общей мощности машины, то она «акустически несовершенна». Необходимо стремиться, чтобы излучаемая звуковая мощность составляла не более 10^{-8} от общей мощности машины.

2.6.1. Снижение шума в источнике

Снижение шума в источнике может быть достигнуто применением технологических процессов и оборудования, не создающих чрезмерного шума. К их числу относятся электрофизические методы в металлообработке, создание неразъемных соединений сваркой, склеиванием, прессованием и с помощью безударных специальных заклепок, автоматизация формовки и зачистки в литейном производстве, литье под давлением, технология профильного шлифования, уплотнение прессованием взамен вибрационного и ударного уплотнения, применение гидравлического привода взамен пневматического, тонкое литье вместоковки и др.

Для выбора того или иного пути уменьшения шума данного производственного оборудования или машины необходимо знать его природу. Шумы машин могут быть механическими, аэродинамическими, гидродинамическими, электромагнитными. Мероприятиями по снижению шумов в источниках их образования могут быть следующие:

1. Механические шумы снижаются за счет уменьшения перехода механической энергии в акустическую путем:

- повышения точности изготовления машин;
- уменьшения передаваемых нагрузок и частоты вращающихся частей;
- замены ударных процессов на безударные;
- улучшения балансировки вращающихся частей;
- замены в механизмах возвратно-поступательного движения на вращательное;
- использования незвуковых материалов (пластмассы, незвучные металлы с большим внутренним трением);
- совершенствования смазки трущихся поверхностей;

- применения клиноременных и зубчато-ременных передач вместо зубчатых.

2. *Аэродинамические шумы* от перехода энергии газовой струи в аэродинамическую энергию. Снижение аэродинамических шумов достигается:

- уменьшением скорости обтекания тел;
- совершенствованием аэродинамических характеристик тел;
- улучшением аэродинамических характеристик (вентиляторов, турбин),
- трансформацией спектра шума в высокочастотную, ультразвуковую область;
- снижением градиента скорости струи за счет совершенствования конструкции.

3. *Гидродинамические шумы* при переходе энергии жидкости в акустическую снижаются за счет:

- улучшения гидродинамических характеристик насосов;
- уменьшения турбулентности потока жидкости;
- использования оптимальных режимов работы насосов;
- исключения гидравлических ударов рациональной конструкцией гидросистемы;
- недопущения резких закрытий трубопроводов.

4. *Электромагнитные шумы* при переходе энергии электромагнитного поля в акустическую. Методами защиты служат:

- использование в конструкции электрических машин скошенных пазов якоря двигателя;
- применение плотной прессовки пакетов в трансформаторах;
- учет влияния на ферромагнитные массы переменных магнитных полей.

2.6.2. Строительно-акустические мероприятия по защите от шума

Снижение производственного шума по пути его распространения достигается комплексом строительно-акустических мероприятий, состоящих из акустических и архитектурно-планировочных.

Основным нормативным документом, устанавливающим требования к строительно-акустическим методам борьбы с шумом, является глава СНиП II-12-77 «Защита от шума», содержащая нормы и правила проектирования шумоглушения строительно-акустическими, градостроительными и архитектурно-планировочными методами и включающая общие требования по проектированию мероприятий по шумоглушению, порядок проведения акустических расчетов, состав шумовых характеристик источников шума, нормы допустимого шума и основные принципы определения уровней звукового давления в расчетных точках, порядок расчета требуемого снижения шума и указания по выбору, расчету и проектированию шумоглушающих конструкций, устройств и мероприятий.

Меры по борьбе с шумом следует предусматривать уже на стадии проектирования генеральных планов промышленных предприятий и планировок помещений в отдельных цехах. Так, при расположении промышленных зданий на генеральном плане не допускается размещение объектов, требующих особой защиты от шума (лабораторно-конструкторских корпусов, вычислительных центров, административных и тому подобных зданий), в непосредственной близости от шумных помещений (испытательных боксов авиационных двигателей, газотурбинных установок, компрессорных станций и т.п.). Наиболее шумные объекты необходимо компоновать в отдельные комплексы. При планировке помещений внутри зданий нужно предусматривать максимально возможное

удаление тихих и малошумных помещений от помещений с интенсивными источниками шума.

Для уменьшения шума, излучаемого промышленным оборудованием в атмосферу, необходимо предусматривать применение материалов и конструкций при проектировании кровли, наружных стен, фонарей, остекления (окон), ворот, дверей, которые могут обеспечить требуемую звукоизоляцию; использование ворот и дверей с необходимой звукоизоляцией; уплотнение по периметру притворов ворот, дверей и окон; звукоизоляцию и виброизоляцию технологических коммуникаций, проходящих через наружные ограждающие конструкции здания, а также устройство звукоизолированных боксов и звукоизолирующих кожухов при размещении шумящего оборудования на территориях промышленных предприятий.

В некоторых случаях целесообразно применение звукоотражающих экранов, препятствующих распространению звука в атмосферу от оборудования, размещенного на территории промышленной площадки.

В газовоздушных трактах установок, излучающих шум в атмосферу (испытательных боксов двигателей, газотурбинных установок, компрессоров, вентиляционных и тому подобных установок) необходимо устройство глушителей шума.

При составлении технологических планировок производственных участков и цехов необходимо выделять наиболее шумное оборудование в отдельные звукоизолированные помещения (либо типа боксов на одну или две единицы оборудования, либо в помещения типа общих залов).

Для шумных помещений, граничащих с тихими помещениями, следует применять ограждающие конструкции (перекрытия, стены, двери, ворота, окна) с

достаточной звукоизоляцией, обеспечивающей требуемое снижение шума. Ворота, двери, окна должны быть тщательно подогнаны к проемам и иметь уплотнение по контуру из пористой резины. Особое внимание следует уделять звукоизоляции технологических проемов в стенах и перегородках, отделяющих шумные помещения от тихих.

Размещение вспомогательного оборудования и участков (машинных залов, насосных, вентиляционных камер и др.) следует производить в изолированных от основных цехов помещениях. Вентиляционные установки не должны создавать шум в производственных помещениях, превышающий уровни, допустимые по нормам. В случае необходимости для них должны быть подобраны глушители на основании акустического расчета, а сами вентиляторы должны быть заключены в звукоизоляционные кабины или кожухи.

При установке оборудования с динамическими нагрузками необходимо предусматривать мероприятия по его виброизоляции. Это необходимо для устранения передачи в соседние помещения вибраций и звука по строительным конструкциям здания (структурного шума). Передачу структурного шума в другие помещения можно снизить также путем создания виброизоляции в самих строительных конструкциях за счет применения самостоятельных виброизолированных фундаментов под оборудование с динамическими нагрузками и устройствами акустических швов, разрывов в конструкциях здания и пр.

Выбор тех или иных мероприятий, определение необходимости и целесообразности их применения производятся на основе анализа шумовых характеристик оборудования, предусмотренного проектом, а также размеров, конструктивных особенностей (наличия

фонарей, ферм и т.д.) и акустических характеристик помещений, в которых оно размещено.

Для уменьшения шума, проникающего в изолируемое помещение, следует применять при проектировании ограждений материалы и конструкции, обеспечивающие требуемую звукоизолирующую способность: использовать двери и окна кабин наблюдения с требуемой звукоизолирующей способностью, устраивать звукопоглощающие облицовки потолка и стен или штучные звукопоглотители в изолируемом помещении; обеспечить акустическую виброизоляцию агрегатов, расположенных в том же здании; применять звукоизолирующие и вибродемпфирующие покрытия на поверхности трубопроводов, проходящих по помещению; использовать глушители шума в системах принудительной вентиляции и кондиционирования воздуха.

Для уменьшения шума в помещении с расположенными в нем источниками шума следует предусматривать: кабины наблюдения, дистанционного управления и специальные боксы для наиболее шумного оборудования; звукоизолирующие кожухи, акустические экраны и выгородки; вибродемпфирующие покрытия на вибрирующие тонкие металлические поверхности; звукопоглощающие облицовки стен и потолка или штучные звукопоглотители; звукоизолированные кабины и зоны отдыха для обслуживающего персонала. На рис. 2.15 приведен пример, показывающий эффективность снижения шума машины средствами звукоизоляции, звукопоглощения и виброизоляции в отдельности и в комплексе.

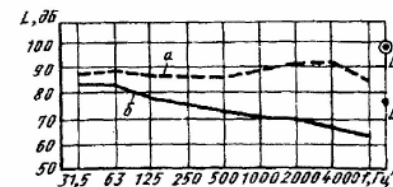
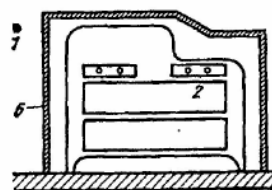
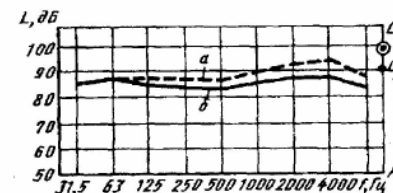
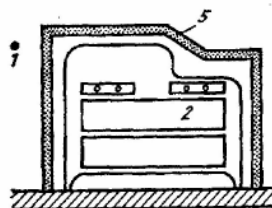
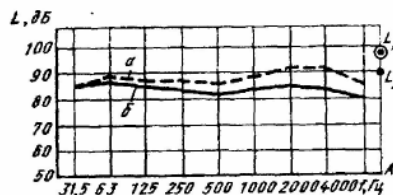
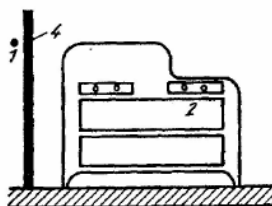
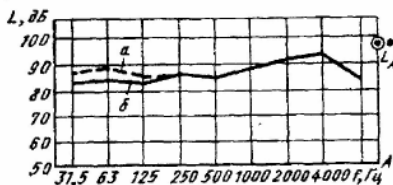
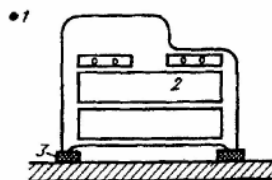
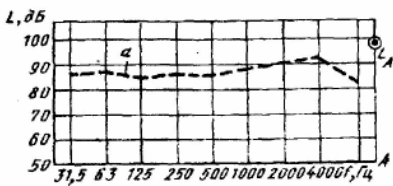
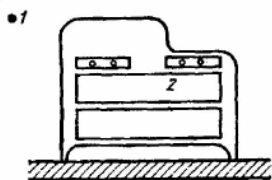


Рис. 2.15. Пример эффективности средств снижения шума машины (начало)

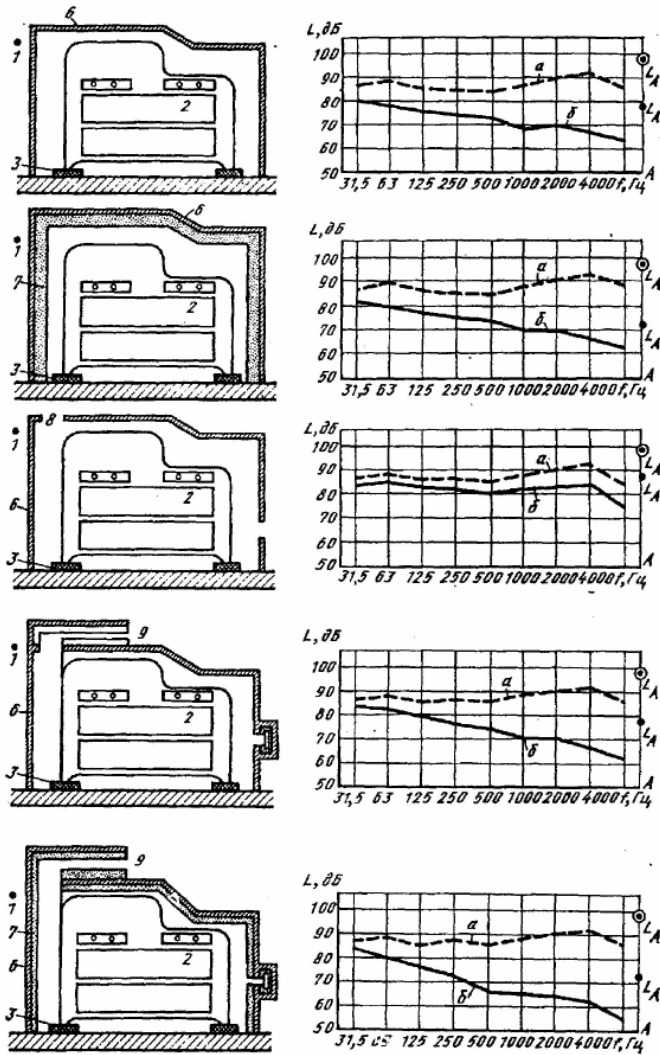


Рис. 2.15. Пример эффективности средств снижения шума машины (окончание): *а* – до применения средств шумоглушения; *б* – после применения средств шумоглушения; *А* – частотная коррекция *А*; L_A – уровень звука, дБА; 1 – точка наблюдения; 2 – машина; 3 – виброизолятор; 4 – твердый экран; 5 – кожух из пористого материала; 6 – кожух из жесткого непористого материала; 7 – звукопоглощающий материал; 8 – канал со звукопоглощающей облицовкой; 9 – вентиляционное отверстие

2.6.3. Защита от шума путем применения дистанционного управления машинами, средств индивидуальной защиты и организационно-технических мероприятий

Дистанционное управление машинами позволяет иногда эффективно решать вопросы защиты от шума. В этих случаях персонал располагается либо в помещениях зданий, удаленных от источников шума (например, в блочных щитах управления на электростанциях), либо в специальных кабинах наблюдения и дистанционного управления, располагаемых в цехах промышленных предприятий. Снижение шума, обеспечиваемое кабинами наблюдения и дистанционного управления, обычно не превышает 20–30 дБ.

Во всех особо шумных цехах и участках, где на рабочих местах шумных технологических процессов невозможно снизить шум строительно-акустическими методами, не изменив сам технологический процесс, необходимо применять средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051–87. Эффективность снижения шума средствами индивидуальной защиты колеблется от 10 до 40 дБ.

Организационно-технические методы коллективной защиты от шума в соответствии с ГОСТ 12.1.029–80 (2001) включают применение малошумных технологических процессов (изменение технологии производства, способа обработки и транспортировки материала и др.); оснащение машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля; применение малошумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц; совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин; использование

рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

Рациональные режимы труда в первую очередь могут достигаться сокращением времени пребывания рабочих в условиях чрезмерного шума. Принятая в нашей стране система определения эквивалентных уровней предусматривает возможность повышения допустимых уровней шума на 3 дБ при сокращении времени пребывания в шумной зоне в 2 раза.

2.7. Механический шум

Механический шум, возникающий на производстве, обусловлен колебаниями деталей машин и их взаимным перемещением. Он вызывается силовыми воздействиями неуравновешенных вращающихся масс, ударами в сочленениях деталей, стуками в зазорах, движением материалов в трубопроводах или лотках, колебаниями деталей машин, обусловленных силами немеханической природы и т.п. Эти колебания служат причиной как воздушного, так структурного шума.

Возбуждение механического шума обычно носит ударный характер (процессыковки, штамповки, клепки, рихтовки). Излучающие его конструкции и детали представляют собой распределенные системы с многочисленными резонансными частотами. Спектр механического шума занимает широкую область частот. Наличие высокочастотных составляющих в механическом шуме приводит к тому, что обычно он субъективно очень неприятен. Колебания движущихся деталей передаются корпусу (станине, кожуху), который меняет спектр колебаний и излучаемого шума.

Процесс возникновения механического шума весьма сложен, так как определяющими факторами здесь

являются кроме формы, размеров, числа оборотов, типа конструкций, механических свойств материала, способа возбуждения колебаний, также состояние поверхностей взаимодействующих тел, в частности трущихся поверхностей, и их смазывание. Расчетным путем определить излучаемое звуковое поле обычно не удастся.

Основными источниками возникновения шума механического происхождения являются зубчатые передачи.

2.7.1. Зубчатые передачи

Шум зубчатых передач вызывается колебаниями колес и элементов конструкций, сопряженных с ними. Причинами этих колебаний являются: взаимное соударение зубьев при входе в зацепление, переменная деформация зубьев, вызванная непостоянством сил, приложенных к ним, кинематические погрешности зубчатых колес, переменные силы трения.

Спектр шума занимает широкую полосу частот, особенно значителен он в диапазоне 2000–5000 Гц. На фоне сплошного спектра имеются дискретные составляющие, основными из которых являются частоты, обусловленные взаимным соударением зубьев, действием ошибок в зацеплении и их гармониками (волн с различной амплитудой и фазой). Основная частота шума зубчатых передач равна частоте пересопряжения зубьев:

$$f = \frac{zn}{60},$$

где z – число зубьев колеса; n – частота вращения колеса, мин⁻¹.

Для изготовления зубчатых колес в основном используются углеродистые и легированные стали. В тех же случаях, когда необходимо обеспечить менее шумную

работу передачи, для зубчатых колес используются неметаллические материалы. Раньше с этой целью зубчатые колеса изготавливались из дерева и кожи; в настоящее время их делают из текстолита, древопластиков, полиамидных пластмасс (в том числе из капрона).

Зубчатые колеса, изготовленные из пластмасс, имеют ряд преимуществ по сравнению с металлическими: износостойкость, бесшумность в работе, способность восстанавливать форму после деформации (при невысоких нагрузках), более простую технологию изготовления и т.п. Наряду с этим они имеют существенные недостатки, ограничивающие область их применения: относительно малую прочность зубьев; низкую теплопроводность, большой коэффициент линейного термического расширения.

Наибольшее применение для изготовления зубчатых колес нашли терморезистивные пластмассы на основе фенолформальдегидной смолы. Прочные изделия из них получают путем введения в состав материала органического наполнителя. В качестве наполнителя применяют хлопчатобумажную ткань в количестве 40–50 % к массе готовой пластмассы или древесину в количестве 75–80 %, а также стеклоткань, асбест, волокна.

Слоистые пластмассы изготавливаются двух типов: текстолит и древесно-слоистый пластик (ДСП). Изделия из этих пластмасс получают в большинстве случаев методом механической обработки.

Из термопластических смол широкое распространение получили полиамидные смолы. Они сочетают в себе хорошие литейные качества, достаточно высокую механическую прочность и низкий коэффициент трения (0,12–0,15).

С целью увеличения механической прочности зубчатые колеса из пластмасс усиливаются посредством введения

специальных деталей, изготовленных из металла, стеклопластика или другого материала с прочностью выше, чем прочность пластмассы. Из листа 0,1–0,5 мм изготавливают армирующую деталь, воспроизводящую форму зубчатого колеса, но значительно меньшую по наружным размерам. Деталь снабжается отверстиями и пазами для прохождения пластмассы и устанавливается в форму так, чтобы она полностью покрывалась пластмассой.

В зависимости от толщины колеса вводят одну или несколько таких деталей. Подобным образом можно армировать не только прямозубые, но и глобоидальные колеса, а также червяки и кулачки. Сравнительные испытания зубчатых передач с колесами из пластмасс и со стальными колесами, проведенные ЦНИИТМАШ, подтвердили эффективность применения пластмасс для снижения шума.

Так, уровень звукового давления пар сталь – капрон снизился по сравнению с уровнем звукового давления стальных зубчатых пар на 18 дБ. Повышение нагрузки пластмассовых зубчатых передач вызывает меньшее увеличение шума, чем у стальных. Сравнительная оценка шума зубчатых пар сталь – капрон и капрон – капрон на всех режимах работ показывает, что для снижения шума передач практически достаточно заменить одно зубчатое колесо пластмассовым. Эффективность снижения шума за счет применения пластмассовых колес на высоких частотах выше, чем на низких.

Материалом, находящим все новые и новые области применения в современной технике, стала резина. Прочность, надежность, долговечность резиновых деталей определяются правильным выбором конструкции, оптимальных размеров, марки резины, рациональной технологии изготовления деталей. Практика показала

эффективность применения упругих зубчатых колес, а также колес с внутренней виброизоляцией. В качестве элементов таких изделий применяются гибкие резиновые шарниры. Упругость зубчатого колеса достигается путем укрепления резиновых вставок между ступицей и венцом колеса. Это способствует смягчению радиальных и уменьшению ударных нагрузок на зуб колеса.

Одним из способов уменьшения шума и вибрации зубчатых колес является повышение точности их изготовления. Точность изготовления обеспечивается правильным выбором технологического процесса нарезания и доводочной обработкой венца (шевингованием, притиркой, тонким шлифованием и полированием). Применяют мероприятия, снижающие шум зубчатых колес на следующие величины (дБА):

Обкатка зубчатых колес.....	3
Бочкообразная форма зубьев.....	3
Подбор зубчатых колес парами по шуму.....	4
Притирка зубьев.....	5
Фланкирование профиля зубьев.....	6

В результате применения этих операций и мероприятий величина циклически действующих ошибок уменьшается, и тем самым значительно снижается шумообразование (на 5–10 дБ). Длительная притирка зубьев не рекомендуется, так как она приводит к недопустимому искажению их профиля.

Снижение шума передачи может быть достигнуто уменьшением частоты вращения зубчатых колес. Например, за счет применения двухступенчатых редукторов, уменьшения модуля, изменения числа зубьев.

На увеличение уровня шума зубчатых передач существенное влияние оказывают также монтажные и эксплуатационные дефекты. К монтажным дефектам относят повышенные зазоры в подшипниках, перекос осей, невыдержка межцентровых расстояний спариваемых

зубчатых колес, неточное центрирование их, биение соединительных муфт. К эксплуатационным факторам, влияющим на шум зубчатых колес относят изменение передаваемого крутящего момента (в частности, его колебания), износ и режимы смазывания и количество смазочного материала. Изменение передаваемого крутящего момента, порождает ударный характер взаимодействия зубьев в зацеплении. Отсутствие или недостаточное количество смазочных материалов металлических зубчатых колес приводит к повышению трения и, как следствие, к увеличению уровней звукового давления на 10–15 дБ.

Снижение интенсивности низкочастотных составляющих шума достигается повышением качества сборки и динамической балансировкой вращающихся деталей, а также введением упругих муфт между редуктором и двигателем, редуктором и исполнительным механизмом. Введение упругих элементов в систему снижает динамические нагрузки на зубья зубчатых колес.

Применение специальных демпферов как в самих зубчатых передачах, так и во всем механизме в целом смещает максимум звуковой энергии в сторону средних частот.

Уменьшение зазоров между зубьями заметно уменьшает амплитуду вибраций зубчатых колес, вызванных внешними причинами, однако уменьшение зазора до значений, меньших допустимого нормами, вызовет заметное ухудшение в работе передачи. Своевременный и высококачественный ремонт зубчатых передач, при котором зазоры во всех сочленениях доводятся до предусмотренных допусками, необходим для снижения уровня шума и вибрации.

2.7.2. Редукторы

Редуктор – это агрегат, включающий в себя одну или несколько передач зацеплением, смонтированных в корпусе. Редуктор предназначен в основном для понижения частоты вращения и, соответственно, увеличения крутящего момента. Любой редуктор имеет быстроходный (входной) и тихоходный (выходной) вал. В редукторах применяют зубчатые передачи, цепные передачи, червячные передачи, а также используют их в различных сочетаниях. Редукторы используют в транспортных, грузоподъемных, обрабатывающих и других машинах.

Основными причинами шума редукторов являются неточности зацепления зубчатых колес, изготовления шарикоподшипников, сборки и монтажа, а также неудовлетворительная их эксплуатация.

На рис. 2.16 показаны пути передачи шума в закрытых зубчатых передачах (редукторах). Излучателями шума в таких системах являются ограждающие конструкции. От зубчатых передач шум через воздушный промежуток и ограждения проникает в окружающее пространство – это воздушный шум.

Колебания от зубчатых передач через опорные конструкции и стыковые соединения могут передаваться на внешние ограждающие конструкции, которые излучают шум.

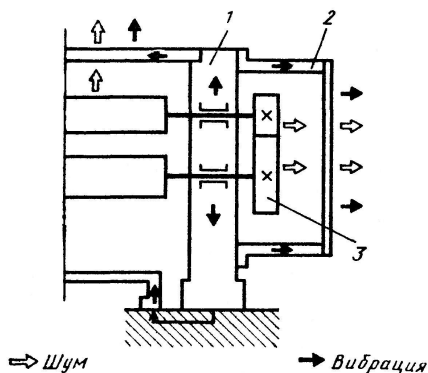


Рис. 2.16. Пути передачи звука и вибрации на ограждения редукторных систем:
 1 – станина; 2 – кожух; 3 – зубчатая передача

В кожухах редукторов имеются технологические отверстия (смотровые окна, отверстия для смазывания и т.д.). Шум редукторных систем складывается из шума, излучаемого кожухом, колеблющимся под действием шума внутри него и вследствие передающихся на него вибраций, а также воздушного шума, проходящего через отверстия и неплотности. Несмотря на различное назначение и конструктивное исполнение, редукторы имеют ряд общих характерных особенностей:

- зубчатые передачи и ограждающие конструкции размещены на общей станине;
- кожухи имеют небольшие габариты, и внутренняя воздушная полость редукторных систем относится к классу «малых» акустических объемов, размеры которых меньше длины волны на низких и средних частотах;
- ограждающие конструкции жестко связаны с металлическими опорными конструкциями;
- общий уровень излучаемого редукторными системами шума определяется уровнем шума, излучаемого тонкостенными крышками ограждений;

– обычно размеры излучающих ограждений соизмеримы с расстояниями до зон, в которых находится обслуживающий персонал.

В табл. 2.20 перечислены основные причины возникновения шума в редукторах и мероприятия по его снижению.

Таблица 2.20

Причины шума и мероприятия по его снижению в редукторных системах

Источник шума	Причины шума	Мероприятия по снижению шума
Воздушный шум	Недостаточная звукоизолирующая способность ограждений	Увеличить звукоизоляцию ограждений
	Высокий уровень звукового давления в полости редукторных систем	Ввести в полости звукопоглощающие материалы
Вибрация ограждающих конструкций	Недостаточная виброизоляция движущихся механизмов от ограждающих конструкций	Увеличить виброизоляцию движущихся механизмов от ограждающих конструкций
	Малый коэффициент потерь ограждающих конструкций	Увеличить коэффициент потерь: введением в стыковые соединения вибропоглощающих прокладок; применением вибропоглощающих мастик, наносимых на ограждения
Технологические отверстия	Большие размеры и неудачное расположение технологических отверстий в панелях ограждений	Уменьшить площадь отверстий и оснастить их специальными устройствами (звукопоглощающими каналами)

2.7.3. Кулачковые механизмы

Кулачковым называется трехзвенный механизм с высшей кинематической парой, входное звено которого называется кулачком, а выходное – толкателем (или коромыслом). Кулачковые механизмы предназначены для преобразования вращательного или поступательного

движения кулачка в возвратно-вращательное или возвратно-поступательное движение толкателя.

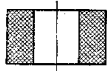
Шум и вибрация от кулачковых механизмов являются доминирующими при работе машин полиграфической, текстильной и пищевой промышленности. Возникновение шума от кулачковых механизмов связано с наличием переменных сил в зоне контакта пары кулачок – ролик, которые вызывают колебания деталей, приводящие к излучению шума.

Наиболее эффективными способами снижения колебаний кулачковых механизмов являются: оптимальный режим механической обработки профилей кулачков и введение дополнительных операций, улучшающих качество их поверхности (например, выглаживание); применение материалов для изготовления роликов и кулачков, обладающих демпфирующими свойствами; применение в кулачковых механизмах подшипников качения в качестве роликов; надлежащее проектирование профиля кулачка с целью уменьшения неравномерности движения и ударов.

В табл. 2.21 приведены данные о роликах кулачковых механизмов с пониженным излучением шума.

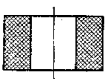
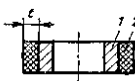
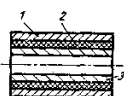
Таблица 2.21

Основные параметры малозумных роликов кулачковых механизмов

Тип конструкции	Схема конструкции	Вибродемпфирующий материал	Снижение вибрации и шума ¹ , дБ	Свойства и область применения
1	2	3	4	5
Сплошной ролик		Текстолит	2,5–3	Может применяться в кулачковых механизмах со скоростями работы не более 1 м/с

То же	То же	Капролон	3–4	Может применяться для машин со средним режимом нагрузок в кулачковых механизмах
-------	-------	----------	-----	---

Окончание табл. 2.21

1	2	3	4	5
Сплошной ролик		Поликарбонат (дифлон)	3–4	Рекомендуется применять в кулачковых механизмах, работающих с небольшими жесткими ударами при средних режимах нагрузки и скоростях
То же	То же	Фторопласт-3	5–6	Рекомендуется использовать в кулачковых механизмах, работающих плавно, без скачкообразных изменений ускорений, мало нагруженных, но создающих большой шум, со скоростью до 1 м/с (для ненагруженных механизмов ниткошвейных машин)
» »	» »	Древесно-слоистый пластик ДСП-Б	3–3,5	Рекомендуется применять в кулачковых механизмах со средним режимом нагрузки и со скоростью работы до 1 м/с
Ролик 1 с полимерным покрытием 2 толщиной t		Крошка капроновая первичная, экстрагированная	3–4	Может применяться в кулачковых механизмах в условиях, аналогичных с п. 2
Слоеный ролик: 1, 3 – внешняя и внутренняя обоймы; 2 – вибродемпфирующий материал		Те же, что и для сплошного ролика	2–5	Можно применять во всех кулачковых механизмах полиграфических машин
Подressоренный ролик	То же	Полиуретан типов СКУ-7Л и СКУ тонким	6–8	Рекомендуется применять в кулачковых механизмах с повышенным уровнем шума и звуковой вибрации для скоростных полиграфических

¹ По сравнению со стальным сплошным металлическим роликом

2.7.4. Цепные передачи

Цепные передачи – это передачи зацеплением и гибкой связью, состоящие из ведущей и ведомой звездочек и охватывающей их цепи. Передачи используют в сельскохозяйственных, подъемно-транспортных, текстильных и полиграфических машинах, мотоциклах, велосипедах, автомобилях, нефтебуровом оборудовании.

Область борьбы с шумом цепных передач еще мало исследована, поэтому дать достаточно надежные общие рекомендации по его снижению трудно. Можно сказать только, что в таких передачах целесообразно:

- направляющие крепить к станине через виброизолирующие прокладки;
- конструкции направляющих выполнять из материала с большим коэффициентом потерь или устанавливать их рабочую поверхность на упругом основании; примеры таких конструкций приведены на рис. 2.17;
- обеспечить безударный выход и вход цепи из направляющих; этого можно достичь оптимальным расположением направляющих и демпфированием участков направляющих в зоне входа цепи;
- в зоне цепных конвейеров устанавливать звукоизолирующий кожух, закрывающий элементы цепных передач.

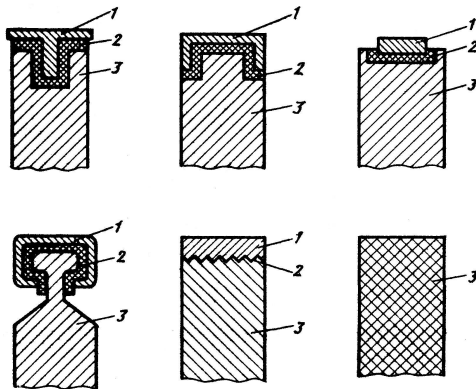


Рис. 2.17. Примеры конструкций направляющих:
 1 – рабочая металлическая поверхность направляющих; 2 – упругая демпфирующая прокладка или слой; 3 – остов направляющих

2.7.5. Шум и вибрация от неуравновешенности вращающихся масс

Неуравновешенность вращающегося ротора является одной из основных и наиболее распространенных причин вибрации машин, а вследствие ее и излучаемого шума. Она характеризуется несовпадением главной оси инерции ротора с осью вращения.

Методы снижения шума и вибрации от неуравновешенности вращающихся масс, а также возникающих в соединениях валов, рассмотрены ниже в применении к насосным агрегатам (насосам), для которых они очень важны. Большая часть сказанного относится и к другим машинам.

Необходимым условием обеспечения требуемых уровней вибрации на частоте вращения является правильная центровка валов. При соединении полумуфт насосных агрегатов должны соблюдаться требования ОСТ 26-1347-77 «Насосы. Общие технические условия».

Для устранения неуравновешенности ротора насоса необходимо проводить балансировку ротора, а также его

составных частей на специальных балансировочных станках. Если после проведения балансировки виброактивность центробежного насоса (ЦН) на частоте вращения не удовлетворяет предъявленным требованиям, можно провести балансировку ЦН при работе на эксплуатационном режиме.

Балансировка ротора ЦН включает следующие операции; поэлементную балансировку составных элементов ротора (рабочих колес, полумуфт и т.п.); динамическую балансировку ротора в сборе; балансировку ЦН на месте (при необходимости).

2.7.6. Подшипники

Подшипники являются опорами валов и вращающихся осей. Они воспринимают нагрузки, приложенные к валу или оси, и передают их на корпус машины. В зависимости от рода трения подшипники делятся на подшипники скольжения и подшипники качения. С увеличением частоты вращения значительно увеличивается уровень шума подшипников. Интенсивным источником механической вибрации и шума у многих машин являются подшипники качения. Увеличение частоты вращения подшипников качения от n_1 до n_2 (мин^{-1}) сопровождается возрастанием уровня звука на величину ΔL , определяемую по эмпирической формуле $\Delta L \approx 23(n_2/n_1)/3$. Внутренние силы, вызывающие вибрацию подшипников качения, обусловлены допусковыми отклонениями элементов подшипника и монтажных размеров, зависящими от точности, принятой при изготовлении деталей. Силы возникают от разностенности колец подшипников, овальности и разноразмерности тел качения, волнистости на дорожках качения, радиального и осевого зазоров

между телами качения и кольцами, а также зазора в гнездах сепаратора.

Следует отметить, что изготовленный с высокой точностью подшипник может стать источником интенсивной вибрации и шума, если будет неправильно установлен. Другой фактор, влияющий на уровень шума от подшипника, – качество его смазывания.

Подшипники скольжения значительно менее виброактивны, чем подшипники качения, особенно на высоких частотах. Основная причина шума, создаваемого подшипниками скольжения – силы трения между поверхностями подшипника и шейки вала, возникающие в результате неравномерного и неправильного смазывания подшипников. В неправильно смазанных подшипниках возникает контакт поверхностей вала и подшипника и появляется «скрип» в результате скачкообразного движения шейки вала и поверхности опоры.

Проблема снижения шума от подшипников включает три самостоятельные задачи: применение подшипников качения с улучшенными шумовыми характеристиками; вибродемпфирование и виброизоляция колебаний, передаваемых на корпус машины; создание наиболее благоприятных условий работы подшипников в машине.

Для снижения шума лучше всего применять однорядные радиальные шариковые подшипники; подшипники других типов создают более высокий уровень шума и вибрации. Так, уровень вибрации роликовых подшипников выше, чем у шариковых, на 5 дБ и более. Такую же величину составляет превышение уровней вибрации подшипников тяжелой серии по сравнению с подшипниками средней серии.

Шум и вибрация подшипников качения определяются степенью отклонения элементов подшипников от идеальных геометрических форм, величиной радиального

зазора между кольцами и телами качения. Это обстоятельство важно при выборе класса точности подшипников и ряда радиального зазора.

ГОСТ 520–71 установлены следующие классы точности подшипников (в порядке повышения точности): 0, 6, 5, 4 и 2. Переход в более высокий класс точности дает снижение вибрации подшипников на 1–2 дБ.

Для малозумных машин могут быть использованы подшипники специального применения с индексом Ш (ТУ 4477-Э–68).

Достаточно эффективное средство снижения шума и вибрации подшипников – применение специальных упругих вкладышей из вибродемпфирующих материалов, компенсирующих геометрическое несовершенство посадочных мест и виброизолирующих корпус от подшипника. Материал и конструктивное оформление таких вкладышей различные. Вкладыши могут быть изготовлены из материалов с высоким коэффициентом затухания (металловолокнистых, резины, пластмасс и т.п.). Установка подшипников качения в такие упругодемпферные опоры существенно снижает уровни вибрации и шума в области средних и высоких частот (до 12–15 дБ).

При выборе типа смазочного материала для малозумных машин целесообразно не применять слишком густой смазочный материал, так как он плохо демпфирует вибрацию тел качения; заполнять масляную камеру на 50 %.

Радикальным средством снижения шума и вибрации подшипников является переход на подшипники скольжения, имеющие уровни шума на 15–20 дБ ниже, чем у подшипников качения, особенно в области высоких частот. Однако для ряда машин (например, центробежных насосов) использование подшипников скольжения

затруднительно по конструктивным и эксплуатационным соображениям.

2.7.7. Кузнечно-прессовое оборудование

Большинство видов кузнечно-прессового оборудования относится к машинам ударного действия, при работе которых возникает импульсный шум, причем его уровень на рабочих местах, как правило, превышает допустимый.

В зависимости от принципа действия, назначения и вида основных источников образования шума кузнечно-прессовое оборудование можно разделить на следующие группы: прессы механические; прессы гидравлические; автоматы кузнечно-прессовые; молоты; прочие (ковочные, гибочные и правильные машины, ножницы и др.).

Основным источником шума, излучаемого механическим прессом, являются колебания его станины и маховика в результате ударов во всех подвижных сочленениях прессы, возникающих в момент включения и в начале движения кривошипно-шатунного или эксцентрикового механизма, когда происходит выборка люфтов в сочленениях шатуна с шейкой рабочего вала и ползуном, а также в подшипниках рабочего вала. Процесс взаимодействия штампа с заготовкой также носит ударный характер. При штамповке уровни звука прессов заметно возрастают – на 4–10 дБА.

Шум включения прессы отсутствует при автоматическом режиме его работы. При этом уровни шума остаются такими же, как и в режиме разового пуска. Возрастание фонового уровня шума в помещении при переводе прессов в автоматический режим работы может быть в значительной мере устранено акустической обработкой ограждающих поверхностей помещения.

Другой путь уменьшения шума включения прессы – обеспечение плавности процессов включения. Его можно

реализовать, заменив механические (кулачковые) муфты прессов фрикционными, пневматическими. Такая замена позволяет снизить шум включения в ближнем поле муфты на 15 дБА, а на рабочем месте штамповщика на 8–11 дБА.

Шум штамповки можно уменьшить тем же методом – увеличением плавности процесса за счет установки на прессах скошенных штампов вместо прямых. Это делается обычно для уменьшения требуемого усилия вырубке какой-либо детали и позволяет повысить срок службы штампа. При скошенном штампе (величина скоса штампа равна толщине заготовки) уровень звука на рабочем месте штамповщика уменьшается на 14 дБА. Применение скошенных штампов наиболее рационально при вырубке деталей большого периметра, когда требуются значительные усилия.

Замена штамповки прессованием значительно снижает шум, так как этот процесс является безударным. Уровни звука на рабочих местах большинства гидравлических прессов не превышают 90–96 дБА (для механических прессов они составляют 100–110 дБА). Особенно шумными являются гидравлические прессы для листовой штамповки простого и двойного действия усилием до 31,5 МН, уровни звука на рабочих местах которых достигают 106 дБА.

Большинство мероприятий по снижению шума гидравлических прессов связано со вспомогательным оборудованием и операциями – гидросистемой, подачей и удалением деталей. Насос гидросистемы следует устанавливать в изолированной камере или закрывать звукоизолирующим кожухом, трубопроводы – покрыть вибропоглощающими материалами или звукоизолировать.

Основным источником особо интенсивного импульсного шума в кузнечно-прессовом производстве являются паровоздушные и пневматические молоты. Шум

излучается в момент соударения бойка бабы молота (штампа) с заготовкой. По данным НИИ различные молоты равной мощности, штампующие изделия одной и той же номенклатуры, имеют близкие частотные характеристики импульсного шума. С увеличением массы падающих частей молота максимум в спектре уровней звукового давления перемещается в сторону низких частот. Уровни звука на рабочих местах у тяжелых ковочных и штамповочных молотов при этом достигают 110–120 дБА.

Для снижения шума в кузнечных цехах целесообразно, если это допустимо технологически, заменять молоты горячештамповочными прессами. Хотя последние также являются источником интенсивного шума, но шум прессы на 9–10 дБ ниже по всему спектру частот, чем молота примерно равной мощности. Шум, сопутствующий работе прессов, оказывает меньшее действие на физиологические функции организма, чем шум работающих молотов, и поэтому является менее опасным для человека.

Для снижения шума выхлопа отработанного перегретого пара при работе паровоздушных молотов с массой падающих частей до 2000 кг может быть использован глушитель камерного типа, показанный на рис. 2.18.

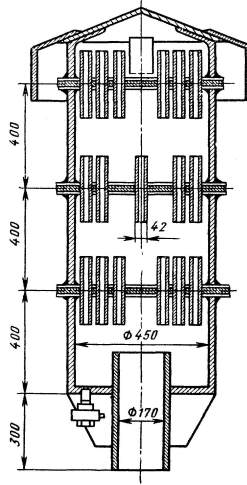


Рис. 2.18. Глушитель шума выхлопа паровоздушных молотов

Он представляет собой стальной цилиндр, внутри которого установлены три поперечные перегородки с трубками диаметром 42 мм и длиной 250 мм. Данная конструкция может быть использована и на молотах большей производительности, для чего необходимо увеличить габариты глушителя, находящиеся в прямой зависимости от объема рабочих цилиндров, и диаметры выхлопного отверстия молота. Такие глушители имеют достаточно большие размеры, поэтому их целесообразно устанавливать за пределами цеха, подводя к ним выхлопные трубы. Одним из существенных отрицательных факторов использования молотов является возбуждение интенсивных ударных нагрузок, которые через основание молота передаются на конструкции здания, где он установлен (а в ряде случаев – и соседних зданий), создавая в них повышенные уровни шума. Для их снижения необходимо обеспечить виброизоляцию молотов.

Пресс-ножницы, обжимные машины и обрезные прессы не имеют соударяющихся элементов и поэтому в отличие от большинства видов кузнечно-прессового оборудования не являются источниками импульсного шума.

2.7.8. Металло- и деревообрабатывающие станки

Металлорежущие станки. В зависимости от типа металлорежущего оборудования, мощности его приводов, интенсивности и стабильности процесса резания уровни звука, создаваемые на расстоянии 1 м от ограждающих поверхностей, составляют 60–110 дБА. При типовых условиях эксплуатации станков верхний предел этого диапазона 90 дБА. Спектр шума станков обычно имеет максимум, расположенный в диапазоне частот 500–2000 Гц (чаще всего в полосе частот 1000 Гц). Большинство металлорежущих станков при надлежащем качестве изготовления имеют шумовые характеристики, удовлетворяющие санитарным нормам без применения дополнительных мер по снижению шума.

Основные источники шума металлорежущих станков можно разделить на пять групп: 1) зубчатые передачи, входящие в приводы главного и вспомогательного движений; сюда относятся сменные колеса и закрытые коробки передач; 2) гидравлические агрегаты; 3) электродвигатели; 4) направляющие трубы токарных автоматов; 5) процесс резания. Кроме того, источниками шума являются подшипники, ременные передачи, кулачковые механизмы, дисковые муфты, но они обычно не влияют на общий уровень шума станка.

Шум станков снижают в источнике возникновения уменьшением передачи колебательной энергии от источника к излучателям шума (обычно это наружные

стенки станка); демпфированием излучателей и строительно-акустическими мероприятиями.

Насосы и двигатели должны монтироваться на виброизоляторах с применением мер для устранения передачи вибрации к масляным резервуарам, которые, имея большую поверхность, интенсивно излучают шум. Для присоединения трубопроводов гидроагрегатов следует применять виброизолирующие зажимы.

Для уменьшения влияния на общий уровень шума отдельные агрегаты, устанавливаемые на станок, виброизолируются от упругой системы станка, если нет особых требований к точности и жесткости монтажа. Это же относится и к электрошкафам, устанавливаемым на станке, которые сами не являются источниками колебаний, но, имея большую площадь поверхности, интенсивно излучают шум. Виброизоляцией двигателей можно снизить уровень звука станка на 6 дБА и более.

При резании уровень звука возрастает на 2–3 дБА из-за увеличения нагрузки на приводы главного и вспомогательного движений и увеличения уровней колебаний упругой системы станка вследствие ее взаимодействия с рабочим процессом (процессом резания, процессом трения).

Особенно неприятен тональный шум, часто возникающий при обработке полых или тонкостенных деталей, при выстое инструмента и при снятии тонкой стружки. Уровень тональной составляющей шума особенно велик, если частоты собственных колебаний режущего инструмента и обрабатываемой детали близки между собой. Этот уровень можно снизить повышением жесткости инструмента, демпфированием колебаний заготовки и инструмента. Демпфирование заготовки можно осуществить прижатием к тонким поверхностям заготовки пластин из резины или другого демпфирующего

материала. Способ прижатия зависит от типа станка и формы обрабатываемой детали. Демпфированием заготовки можно снизить шум в области высоких частот на 10–15 дБ.

Демпфирование инструмента позволяет уменьшить уровень тональных составляющих шума на 20 дБ и более. Широкополосный шум снижается на 2–5 дБ в области низких частот и на 10–15 дБ в области высоких частот. На рис. 2.19 показан пример демпфирования колебаний резца с помощью приклеенных к державке комплектов слоев из демпфирующего материала (например, полиуретана) и стальных пластин.

При работе на отрезных станках дисковыми пилами часто возникает значительный шум, особенно при резке легких металлов, где скорость резания достигает до 70 м/с. При этом в результате колебаний дисковых пил уровень звука достигает 115 дБА. Составные пилы возбуждают меньший шум благодаря внутреннему демпфированию. Шум цельных пил снижают с помощью внешних демпферов. При использовании масляных демпферов с вязкоупругим зажимом диска пилы в качестве демпфирующей среды используют охлаждающее масло, подаваемое в специальные карманы, сделанные в сегментах, расположенных с зазором 0,2 мм у плоскости диска.

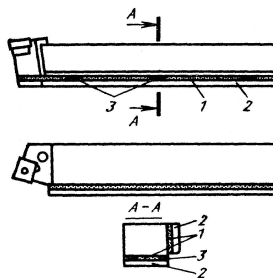


Рис. 2.19. Пример конструкции токарного резца с задемпфированной державкой:

1 – демпфирующий материал; 2 – стальные пластины; 3 – дистанционные проставки

Установка демпфирующих колец на диск пилы – эффективное средство снижения шума. Кольцевой демпфер состоит из двух колец, изготовленных из комбинированного материала (стальной лист – пластмасса – стальной лист). Демпфирующие кольца устанавливаются на заклепках с обеих сторон полотна дисковой пилы.

С помощью таких методов удается снизить уровень звука в процессе отрезки на 8–10 дБА. Снижение шума достигается также уменьшением частоты вращения во время обратного хода после реза дисковой пилы. Предварительной рихтовкой полотна дисковой пилы и повышением точности ее установки можно добиться снижения уровня звука еще на 6 дБА. Применением кожухов, закрывающих полотно пилы, можно добиться дополнительного снижения уровня звука на 6–10 дБА.

Все описанные выше методы не могут полностью устранить шум, связанный с резанием металла, что обусловлено физикой самого процесса резания: сколом элементов стружки, трением стружки и поверхности резания о поверхность инструмента, наличием на обрабатываемой детали движущегося высокоградиентного поля напряжений и т. п. В связи с этим самым эффективным методом снижения шума резания является оснащение станка подвижными кожухами, герметично закрывающими зону резания. Обычные кожухи, сделанные из листового железа, предназначены только для защиты оператора от попадания эмульсии и стружки. Удары стружки об эти кожухи и вибрации, передаваемые на них от приводов, создают дополнительный шум. Звукоизолирующий кожух для станков состоит из двух слоев листового железа, между которыми находится демпфирующий материал. Подвижная часть кожуха

должна герметично закрывать зону резания, места контакта с неподвижной частью должны быть по возможности уплотнены вибропоглощающим материалом. При таких кожухах шум в процессе резания мало отличается от шума при холостом ходе станка.

Кожухи и ограждения на станке, предназначенные для устранения случайного контакта человека с подвижными механизмами, выполняют из тонкого листового железа и жестко прикрепляют к упругой системе станка. При большой площади поверхности они часто способствуют увеличению шума. Такие ограждения при закреплении необходимо виброизолировать от упругой системы станка. Детали крепления (винты, болты) нужно виброизолировать от устанавливаемого ограждения. Если требования к жесткости и точности крепления не позволяют применять виброизоляцию, можно использовать звукоизолирующие панели, прикрепляемые с помощью виброизоляторов к наружным поверхностям интенсивных источников шума, например к шпиндельной бабке. Применение таких панелей позволяет снизить уровень звука, излучаемого закрываемыми поверхностями, на 10 дБА и более. Ограждения и кожухи необходимо по возможности выполнять герметичными, стенки должны быть многослойными или иметь демпфирующее покрытие.

2.7.9. Машины для измельчения материалов

Дробление и измельчение в дробилках и мельницах – это процесс дезинтеграции (разрушения) сырья под влиянием внешних сил, ведущих к образованию дисперсных систем. Дроблением считают такой процесс разрушения, в результате которого получают продукты крупностью более 5 мм, измельчением – менее 5 мм. Для дробления применяют дробилки – щековые, двухвалковые, молотковые с широкими колосниками, валково-зубчатые

дробилки, а для измельчения – дезинтеграторы и мельницы с разными принципами измельчительного дробления. Эти принципы реализуются в молотковых мельницах, роторных, шаровых, барабанных, центробежных и др. Для тонкого и супертонкого измельчения применяют роторно-струйные, струйные и традиционно – шаровые и шахтные мельницы.

Мельницы. К источникам шума относятся шаровые и стержневые мельницы, а также их электродвигатели. Акустическая мощность мельниц зависит от их типа, конструкции, загрузки барабана мельницы измельчаемым материалом, вида измельчаемого материала, режима работы, диаметра шаров, степени износа футеровки (табл. 2.22).

Таблица 2.22

Уровни звуковой мощности (дБ) мельниц некоторых типов и проводных устройств

Наименование оборудования	Среднегеометрическая частота, Гц								Скорректированный уровень звуковой мощности, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Шаровые мельницы: мокрого измельчения МЩЦ-36 × 56, МЩЦ-36 × 55	108	113	112	111	109	103	91	81	113
	сухого измельчения: СМ-15		103	104	107	110	109	104	95
СМ-174	99	115	117	123	123	121	117	107	127
Стержневые мельницы мокрого измельчения МСЦ-32×45	117	116	115	113	109	102	94	85	114
Приводные двигатели мельниц: ДС-260/44-36 СДС-13-6-48	–	111	108	116	97	80	–	–	113
	–	107	108	109	103	83	–	–	108
Редукторы мельниц: ЦД-2600 ЦГШ-1000	105	115	115	120	120	120	117	107	125
	117	112	116	122	119	107	109	91	113

В диапазоне частот 500–5000 Гц уровни шума мельницы с полной загрузкой барабана на 10–15 дБА ниже, чем разгруженные мельницы.

Приведенные частотные характеристики шума показывают, что шум мельниц мокрого и сухого измельчения имеет широкополосный спектр. Основные причины возникновения высокого уровня шума мельниц – удары мелющих тел о футеровку барабана и торцевой крышки, возмущающие усилия в элементах зубчатого зацепления. Кроме того, звуковая мощность мельниц обусловлена:

- негерметичностью мельниц со стороны загрузочных и разгрузочных горловин, в результате чего шум проникает в помещение;

- звуковыми вибрациями, создаваемыми футеровками и передающимися всей внешней поверхности барабана и торцевым крышкам;

- негерметичностью ограждений зубчатого зацепления;

- жесткой связью ограждений механизма загрузки, разгрузки и зубчатого зацепления с фундаментом мельницы.

Уровни звукового давления, создаваемые барабаном шаровой мельницы типа МШР на частотах 300–400 Гц на расстоянии 1 м от его средней части, обусловлены передачей звуковой вибрации от венца на барабан, а на более высоких частотах – ударами шаров и измельчаемого материала.

Более интенсивный шум барабан излучает с той стороны, где шары ударяются о барабан, и менее интенсивный – стороны загрузки материала. Барабан мельниц создает шум на уровне 95–100 дБ. Уровень звукового давления из зоны зубчатого зацепления составляет 102–105 дБ в диапазоне частот 60–300 Гц, а из

зоны разгрузочной горловины превышает 98–100 дБ в диапазоне частот 300–3000 Гц.

Уровень шума мельниц в диапазоне низких частот зависит от износа зубчатого зацепления. Так, например, после замены изношенных шестерен венца уровень звукового давления в диапазоне частот 70–300 Гц снижается до 8–10 дБ, а в диапазоне частот 600–5000 Гц – на 15–20 дБ.

На основании аппроксимации шумовых характеристик мельниц Всесоюзным научно-исследовательским институтом техники безопасности черной металлургии (ВНИИТБчермет) разработаны кривые требуемого снижения уровня звукового давления мельниц (рис. 2.20).

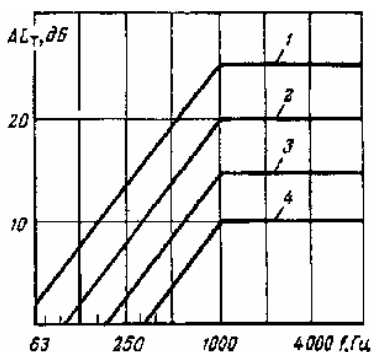


Рис. 2.20. Кривые требуемого снижения уровня звукового давления шаровых мельниц

Значения требуемого снижения уровня звука ΔL_p получены путем вычитания на каждой частоте из уровней звукового давления шума машины величины предельно допустимых значений. При проектировании новых машин значения ΔL_p должны быть дополнительно увеличены на 5 дБ на всех частотах с тем, чтобы учесть повышение шума при групповой установке оборудования.

Анализ современных методов и средств снижения шума в зависимости от конструктивных особенностей мельниц и условий эксплуатации показывает, что наиболее

эффективными являются методы, обеспечивающие измельчение без шаров или снижение передачи их ударов о корпус барабана. Менее шумными являются мельницы само- и рудногалечного измельчения. При существующей технологии измельчения и условий эксплуатации необходимо, прежде всего, применять средства снижения шума от ударов мелющими телами, зубчатого зацепления и средств изоляции шумов, распространяющихся из разгрузочной горловины барабана.

В настоящее время разработаны и используются на предприятиях мероприятия, позволяющие значительно снизить шумовые характеристики мельниц (рис. 2.21). К этим мероприятиям относятся: виброизоляция стальной футеровки от корпуса барабана сплошными или резиновыми прокладками, применение звукоизоляции корпуса барабана, разгрузочных горловин и элементов привода мельницы, износостойкой резиновой футеровки вместо стальных бронеплит.

Виброизоляция стальной футеровки мельниц обеспечивается укладкой между корпусом мельницы (барабана), боковыми и торцевыми футеровочными бронеплитами слоя технической резины из натурального каучука. Применение таких прокладок эффективно для мельниц, в которых плиты футеровки соединены в шарнирный замок (табл. 2.23).

Применение барабанов с виброизолированными футеровками или повышение уровня заполнения барабана материалом позволяют снизить уровни шума до допустимых значений в диапазоне частот 800–1000 Гц.

Значительное снижение уровня шума мельниц достигается в результате установки вокруг корпуса мельницы или барабана на некотором расстоянии от него звукоизолирующего кожуха из стальных листов толщиной 0,25–1,5 мм. Для удобства монтажа и эксплуатации кожух

изготавливают из четырех или более разъемных частей, герметично соединенных между собой через прокладки из губчатой резины (ГОСТ 6467–79) толщиной 5–10 мм. Умельниц с футеровочными болтами кожух крепят к корпусу через стальные стаканы и шайбы из губчатой резины, суммарная толщина которых равна 20 мм. Воздушный промежуток между кожухом и корпусом заполняют звукопоглощающим материалом.

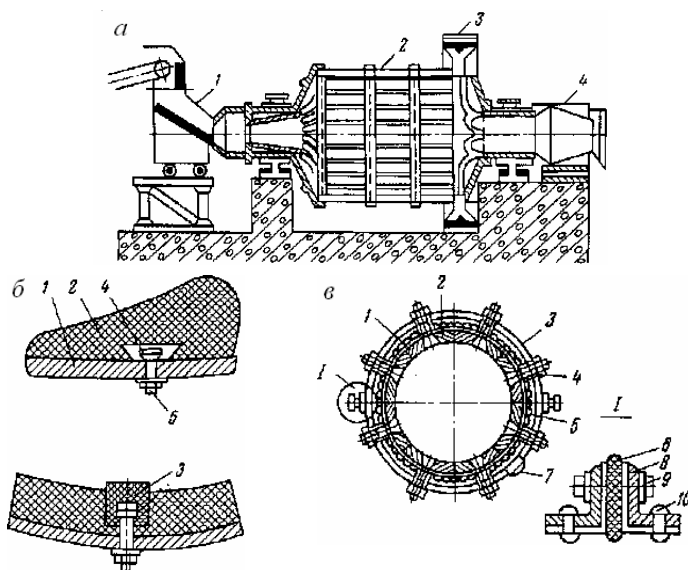


Рис. 2.21. Средства снижения шума шаровой мельницы:

а – комплекс средств: 1 – экранирующее загрузочное устройство; 2 – малозумящий барабан; 3 – экранирующее ограждение зубчатого зацепления; 4 – экранирующее ограждение загрузочной цапфы;

б – элемент резиновой футеровки и метод его крепления: 1 – корпус мельницы; 2 – резиновая футеровка; 3 – лифтер; 4 – клин; 5 – футеровочный болт;

в – звукоизолирующий кожух: 1 – корпус мельницы; 2 – бронифутеровка; 3 – звукоизолирующий кожух; 4 – узел крепления кожуха к корпусу; 5 – звукоизолирующий материал; 6 – резиновые прокладки; 7 – крышка; 8 – уголки; 9 – болт; 10 – заклепки

Для этой цели используют: полиуретановый эластичный самозатухающий материал ППУ-ЭС; поропласт

полиуретановый технический грубошерстный и войлок щитковый. Толщину слоя звукопоглощающего материала выбирают, исходя из требуемого снижения уровня шума по табл. 2.24.

В последнее время в РФ и за рубежом стальные футеровки целиком заменяют на резиновые. В РФ для этой цели изготавливают резиновые смеси 14112, 14478 и резины 1801-6.

Таблица 2.23

**Требуемое снижение уровня звукового давления (дБ)
на различных частотах при установке футеровочных
плит
на резиновые прокладки**

Частота, Гц	Номер кривой требуемого снижения уровня звукового давления по рис. 2.20				Частота, Гц	Номер кривой требуемого снижения уровня звукового давления по рис. 2.20			
	1	2	3	4		1	2	3	4
63	1	0	0	0	800	20	18	13	8
80	3	0	0	0	1000	25	20	15	10
100	5	0	0	0	1250	25	20	15	10
125	7	2	0	0	1600	25	20	15	10
160	9	4	0	0	2000	25	20	15	10
200	11	6	1	0	2500	25	20	15	10
250	13	8	3	0	3150	25	20	15	10
315	15	10	5	0	4000	25	20	15	10
400	17	12	7	2	5000	25	20	15	10
500	19	14	9	4	6300	25	20	15	10
630	21	16	11	6	8000	25	20	15	10

Таблица 2.24

**Выбор звукоизолирующего кожуха для шумоглушения
мельниц**

Номер кривой требуемого снижения уровня звукового давления по рис. 2.20	Болтовое соединение					
	без звукопоглощающего материала			со звукопоглощающим материалом		
	Толщина звукоизолирующей оболочки, мм					
	0,25	0,5	1,0	1,5	0,25	0,1

1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+

Примечание. Знак «-» означает, что уровень шума мельницы со звукоизолирующим кожухом превышает нормативные требования I степени на 4-8 дБ; II степени на 2-5 дБ; знак «+» означает, что уровень шума не превышает нормативных пределов.

Применение резиновых футеровок значительно снижает шум мельниц, увеличивает срок их службы, уменьшает время монтажа футеровок, сокращает трудоемкость монтажных работ.

Для уменьшения шума, излучаемого открытыми разгрузочными горловинами мельниц, применяются звукоизолирующие экраны, устанавливаемые на вращающуюся горловину, или звукоизолирующие экраны с кожухами (рис. 2.22). Экраны изготавливают из стального листа толщиной 8–12 мм. Диаметр экрана принимают равным наружному диаметру горловины. Расстояния между соединительными пластинами, экраном и опорным кольцом должны быть минимальными, но обеспечивающими разгрузку размалываемого материала. От горловины экран виброизолируют листовой резиной толщиной 10–15 мм.

Для горловины мельницы с насадкой также применяют звукоизолирующий экран и кожух (рис. 2.23). Экран изготавливают из стального листа толщиной 8–12 мм. Зазор между экраном и стенкой насадки принимают таким, чтобы через него свободно проходили крупные частицы размалываемого материала. Насадку с экраном виброизолируют от горловины так же, как и в мельнице без насадки. Над насадкой устанавливают звукоизолирующий кожух, изготовленный из стального листа толщиной 2–3 мм.

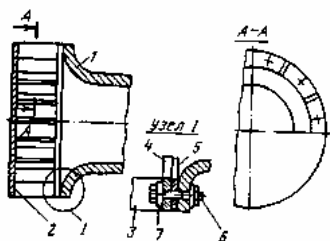


Рис. 2.22. Звукоизолирующий экран для открытой горловины мельницы без насадки:

- 1 – горловина; 2 – звукоизолирующий экран; 3 – соединительная пластина; 4 – опорное кольцо; 5 – резиновое кольцо; 6 – болт; 7 – резиновая шайба

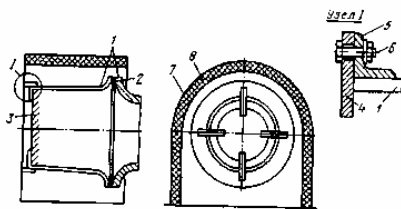


Рис. 2.23. Звукоизолирующий экран и кожух для открытой горловины мельницы с насадкой:

- 1 – горловина с насадкой; 2 – резиновое кольцо; 3 – звукоизолирующий экран; 4 – соединительная пластина; 5 – уголок; 6 – болт; 7 – звукоизолирующий кожух; 8 – звукопоглощающий материал

Внутреннюю поверхность кожуха облицовывают слоем звукопоглощающего материала толщиной 40–50 мм. В качестве звукопоглощающего материала применяют войлок, который крепят к стенке кожуха металлической сеткой с ячейками размером 20–30 мм.

Промышленные испытания звукоизолированных разгрузочных устройств показали, что эффективность снижения уровня звукового давления достигает 20–25 дБ в диапазоне частот 300–3000 Гц, что обеспечивает требуемое ослабление проникающего шума.

Снижение ударного шума, вызванного зубчатым зацеплением вследствие неуравновешенности вращающихся масс барабана, неправильной формы окружности венца, неравномерности износа зубьев венца и шестерни, обеспечивается применением эластичных муфт между приводным двигателем и вал-шестерней, виброизоляцией ограждения венца от корпуса вал-шестерни упругими прокладками и увеличением толщины звукоизоляции ограждения до 6 мм, облицовкой

внутренних его поверхностей листовой резиной толщиной 10–15 мм.

Эти мероприятия снижают уровень звука на 10–15 дБА. Использование фрикционных зацеплений вместо зубчатых или зацеплений с шевронными зубчатыми парами приводит к дополнительному снижению уровня звука на 10 дБА.

Снижение уровня шума мельниц до требуемых значений обеспечивает соблюдение санитарных норм по шуму на рабочих местах. Обобщенные по результатам натуральных измерений октавные уровни требуемого снижения шума мельниц приведены в табл. 2.25–2.28. При расположении рабочих площадок со стороны захвата материала барабаном требуемое снижение уровня шума по табл. 2.26 следует уменьшить на 4 дБ для шаровых мельниц сухого измельчения и на 8 дБ для шаровых и стержневых мельниц мокрого измельчения на всех частотах. При расположении рабочих площадок со стороны ударов шаров или материала по барабану требуемое снижение уровня шума зубчатого зацепления, по сравнению с указанным в табл. 2.28, уменьшается на 3 дБ на всех частотах.

Таблица 2.25

Требования к снижению шума барабанов мельниц

Диаметр барабана, м	Режим измельчения	Номера частотных зависимостей требуемого снижения октавных уровней звукового давления
3,0–3,7	Шаровое сухое измельчение	I
3,0–6,0	Шаровое мокрое измельчение	II
3,0–4,5	Стержневое мокрое измельчение	III
4,0–10,5	Мокрое самоизмельчение	IV

Таблица 2.26

Требуемое снижение октавных уровней звукового давления, создаваемого барабанами мельниц со стороны ударов измельчающих тел, дБ

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Номера частотных зависимостей требуемого снижения октавных уровней звукового давления по табл. 2.6.6			
	I	II	III	IV
63	0	0	0	0
125	9	7	2	0
250	18	13	7	0
500	24	19	12	5
1000	28	25	17	5
2000	26	20	15	5
4000	24	15	13	5
8000	22	12	11	5

Таблица 2.27

Требования к снижению шума зубчатых зацеплений мельниц

Тип зацепления	Условия перефутеровки барабана	Номера частотных зависимостей требуемого снижения октавных уровней звукового давления
Прямозубое	С перестановкой на стенд	I
Косозубое		II
Косозубое	Без перестановки на стенд	III

Таблица 2.28

Требуемое снижение октавных уровней звукового давления зубчатых зацеплений мельниц при расположении рабочей площадки со стороны зубчатого зацепления, дБ

Среднегеометрические частоты октавных	Номера частотных зависимостей требуемого снижения октавных уровней звукового давления по табл. 2.6.6
---------------------------------------	--

полос, Гц	I	II	III
63	24	17	8
125	24	17	8
250	24	17	8
500	22	15	8
1000	20	13	8

Одним из эффективных способов снижения шума барабанов мельниц является укладка листовой технической резины между корпусом барабана мельницы и боковыми и торцовыми футеровочными бронеплитами (рис. 2.24).

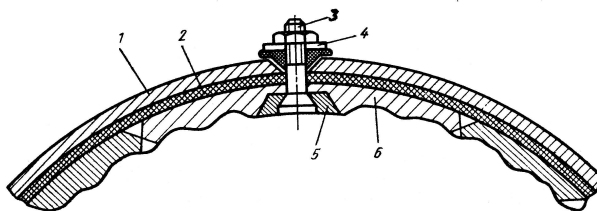


Рис. 2.24. Узел крепления футеровочных бронеплит на упругой прокладке для малоболтовых футеровок:

1 – корпус барабана; 2 – резиновая прокладка; 3 – футеровочный болт; 4 – резинометаллическая шайба; 5 – распорный клин; 6 – футеровочная бронеплита

В последние годы вместо бронеплит широкое применение получили износостойкие резиновые футеровки. Опыт эксплуатации мельниц с такими футеровками показывает, что кроме значительного снижения шума увеличивается срок службы футеровок и упрощается их монтаж. Снижение уровня шума барабана мельницы происходит в результате виброизолирующего действия местного смятия резиновых футеровок при ударах и определяется по рис. 2.25.

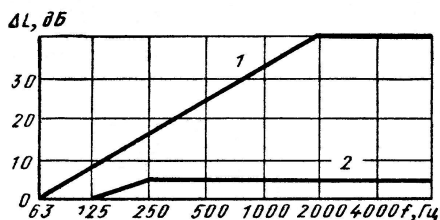


Рис. 2.25. Частотная характеристика снижения уровня звукового давления, создаваемого барабаном мельницы при замене бронеплит резиновой футеровкой:

1 – с резиновыми клиньями; 2 – со стальными клиньями

У мельниц с футеровочными болтами оболочку крепят к корпусу через стальные стаканы и шайбы из губчатой резины (рис. 2.26).

При отсутствии футеровочных болтов оболочку соединяют с корпусом в местах примыкания цилиндрической части барабана к торцам через прокладки из губчатой резины толщиной 15–20 мм. Воздушный промежуток между оболочкой и корпусом заполняют звукопоглощающим материалом (поропласт полиуретановый эластичный самозатухающий ППУ-ЭС, поропласт полиуретановый эластичный трудносгораемый ППУ-ЭТ, базальтовый звукопоглощающий материал БЗМ, капроновое волокно ВТЧС в чехлах из стеклоткани). Толщину слоя звукопоглощающего материала принимают 25–50 мм. Выбор конструкции звукоизолирующей оболочки для мельниц производят по данным табл. 2.29. На мельницы сухого помола звукоизолирующие оболочки целесообразно устанавливать даже в том случае, если они не обеспечивают снижения шума до требуемого уровня.

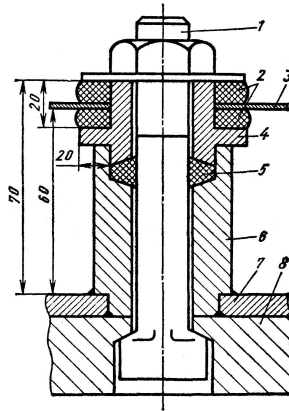


Рис. 2.26. Узел крепления оболочки к корпусу барабана:

- 1 – футеровочный болт; 2 – резиновые шайбы; 3 – оболочка; 4 – стальной вкладыш;
 5 – резиновое уплотнительное кольцо; 6 – стальной стакан; 7 – обечайка барабана;
 8 – футеровочная плита

Для снижения шума зубчатых передач применяют косозубые и шевронные зубчатые колеса вместо прямозубых (при расположении венца на цапфе, а не на барабане) литые корпуса вал-шестерни вместо тонкостенных элементов из листовой стали, упругие муфты между приводным двигателем и вал-шестерней и, наконец, звукоизоляцию зубчатых передач.

Разгрузочные горловины закрываются стальными кожухами, которые внутри облицовываются мягкой листовой резиной.

Дробилки. Под действием кратковременных сил при дроблении неоднородных по размерам и физическим свойствам кусков материала в дробящих деталях возникают динамические деформации, которые передаются на сопрягаемые элементы корпуса и опорного кожуха дробилки, вызывая их интенсивные вибрации. Вибрации, кроме того, возникают в результате контактного зацепления зубьев колес привода, неуравновешенности масс дробящих деталей, ударов

кусков материала по распределительной плите и загрузочной воронке. Излучение звука в результате вибрации наружных поверхностей корпуса, опорного кожуха и загрузочной воронки происходит на частотах выше 600 Гц. На более низких частотах шум распространяется непосредственно из зоны дробления вследствие недостаточной звукоизоляции конструктивными элементами зоны загрузки.

Таблица 2.29

Сравнение уровня звукового давления барабана мельницы со звукоизолирующей оболочкой с предельно допустимым уровнем

Номера кривых требуемого снижения уровня звукового давления	Болтовое соединение			
	Без звукопоглощающего материала		Со звукопоглощающим материалом	
	Толщина звукоизолирующей оболочки, мм			
	1,0	1,5	1,0	1,5
	Болтовое соединение			
I	–	–	–	–
II	–	–	–	–
III	–	–	+	+
IV	+	+	+	+
	Безболтовое соединение			
I	–	–	–	–
II	–	–	–	–
III	+	+	+	+
IV	+	+	+	+

Примечания: 1. Знак «–» означает, что уровни звукового давления мельницы со звукоизолирующей оболочкой превышают предельно допустимые уровни по кривой I на 10–20 дБ, по кривой II на 5–10 дБ, по кривой III на 2–5 дБ. Для дополнительного снижения шума необходимо использовать строительно-акустические способы защиты – устройство звукоизолированных постов управления и звукопоглощающих облицовок.
2. Знак «+» означает, что уровни звукового давления не превышают предельно допустимых.

Частотные характеристики шума конусных дробилок крупного дробления (ККД), среднего дробления (КСД) и мелкого дробления (КМД) приведены в табл. 2.30. Уровни шума зависят от твердости дробимого материала, размеров падающих кусков и равномерности загрузки. Во время

загрузки дробилки уровень шума повышается на 8–10 дБ по сравнению с уровнем шума при установившемся режиме ее работы под нагрузкой. В результате износа бронеплит уровень шума повышается на 5–6 дБ.

Таблица 2.30

Уровни звукового давления конусных дробилок, дБ

Тип дробилки	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Уровни звука, дБ (А)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Холостой ход									
ККД-1500/180	83	85	84	84	81	74	65	54	86
КМД-1750	86	84	84	84	82	77	71	62	86
КМД-2200	89	89	88	87	85	79	72	60	89
КМД-3000Т	79	80	84	81	78	68	63	53	82
КСД-2200	76	81	81	80	81	69	65	56	83
Дробление									
ККД-1500/180	98	96	94	94	93	88	82	76	97
КМД-1750	91	89	91	92	91	89	84	77	96
КМД-2200	92	94	95	94	94	90	83	73	98
КМД-3000Т	93	92	94	95	91	84	75	66	95
КСД-2200	97	98	98	100	98	95	85	73	102

Снижение шума дробилок связано, прежде всего, с уменьшением передачи вибрации от основных ее источников к сопрягаемым деталям, с поверхностями которых происходит излучение шума. С этой целью нужно устанавливать резиновые прокладки между бронеплитами и несущими конструкциями, виброизолировать привод от станины, балансировать вращающиеся детали дробилки. Уменьшение шума, возникающего в зоне загрузки, достигается звукоизоляцией загрузочного устройства.

Для оператора, обслуживающего дробилку, должна быть оборудована звукоизолированная кабина наблюдения.

2.8. Аэрогидродинамические шумы

2.8.1. Классификация и основные причины аэрогидродинамических шумов

Аэрогидродинамические шумы можно разбить на следующие группы.

1. Шумы, происходящие из-за периодического выпуска газа в атмосферу. Типичным примером источника такого шума является сирена. Составляющие этого типа также встречаются в шуме ротационных воздуходувок, винтовых насосов и компрессоров, пневматических двигателей, воздуходувных машин объемного действия, в шуме выпуска и впуска двигателей внутреннего сгорания. Этот шум называется сиренным или объемным, он носит монопольный характер.

2. Шумы, возникающие из-за образования вихрей у твердых границ потока. К ним относятся вихревой шум, образующийся из-за срыва вихрей при обтекании тел, и шум пограничного слоя источником которого является турбулентность потока у поверхностей обтекаемого тела или стенок канала. Эти шумы наиболее характерны для вентиляторов, турбовоздуходувок, насосов, турбокомпрессоров, воздухопроводов, двигателей внутреннего сгорания на высоких частотах и т.п. Причина вихревого шума – образование воздействующих на среду переменных сил или давлений у твердых границ.

3. Шум отрывных течений возникает при отрыве течения и образовании замкнутых или разомкнутых вихревых зон, пульсации границ которых приводят к появлению пульсаций давления и генерации широкополосного шума. Этот шум имеет силовой (дипольный) характер и подчиняется зависимостям, характерным для вихревого шума. Он широко представлен

в шуме, образующемся при течении в фасонных деталях воздухопроводов (дроссель-клапанах, коленах, тройниках, изменениях сечения и т.п.).

4. Шум от неоднородности потока или шум взаимодействия, возникающий при обтекании вращающегося рабочего колеса вентилятора и тому подобной машины неоднородным потоком, образующимся из-за наличия препятствий в потоке. Причиной его могут быть также пульсации давления на неподвижных препятствиях, расположенных вблизи вращающегося рабочего колеса, шум этот, как и вихревой, имеет силовое происхождение и носит дипольный характер.

5. Шум турбулентного характера, возникающий вдали от твердых границ при перемешивании потоков, движущихся с разными скоростями (шум свободной струи), преобладает в шуме выброса сжатого воздуха и в шуме реактивных двигателей. Этот шум возникает из-за переменных касательных (сдвиговых) напряжений и носит квадрупольный характер.

6. Аэродинамические шумы, возникающие в сверхзвуковых течениях из-за наличия ударных волн (скачков уплотнения) и взаимодействия их с окружающей атмосферой или с твердыми стенками. Шум такого рода иногда наблюдается в распылителях краски, топливных форсунках и, вообще, при истечении газа со сверхзвуковой скоростью.

7. Неустойчивые течения (поверхность раздела между подвижным и неподвижным воздухом вблизи резонатора, тонкая струя, набегающая на клин, и др.) в ряде случаев служат причиной возникновения шума с дискретным частотным спектром, если имеется механизм регулирования частоты колебаний в виде резонатора или механической колебательной системы («шум свистка»). Эти шумы могут возникать при течениях газа по трубам с

углублениями, при обдуве полых тел с отверстиями (например, инфразвук, возникающий в движущемся автомобиле при открытых окнах).

8. Аэродинамический (гидродинамический) шум возникает при автоколебаниях упругих конструкций в жидкости и газе (гидроупругие, аэроупругие колебания). К таким явлениям относятся хлопанье недостаточно жестких стенок воздухопроводов, «пение» гребных водяных винтов, автоколебания в водоразборных кранах и запорной арматуре при плохой конструкции уплотняющих прокладок.

9. Кавитационный шум возникает в жидкостях из-за потери жидкостью прочности на разрыв при уменьшении в ней давления ниже определенного предела и возникновения полостей (каверн) и пузырьков, заполненных парами жидкости и растворенными в ней газами, при захлопывании которых возникает звуковой импульс.

Кавитационный шум появляется еще до изменения рабочих характеристик машины (насоса, турбины) и служит показателем возникновения кавитации, которая в большинстве случаев нежелательна.

2.8.2. Источники шума в системах вентиляции

Основными источниками шума в системах вентиляции и кондиционирования воздуха являются вентиляторы, путевая арматура (дроссель-клапаны, шиберы, дроссельные шайбы), фасонные элементы воздухопроводов и воздухораспределительные устройства.

Шум, создаваемый вентилятором. Основными шумовыми характеристиками вентиляторов являются октавные уровни звуковой мощности, излучаемой вентиляторным агрегатом (вентилятором) в окружающее пространство ($L_{P \text{ аг}}$), в воздухопроводы со стороны всасывания ($L_{P \text{ вс}}$), и нагнетания ($L_{P \text{ наг}}$).

При эксплуатации систем кондиционирования расход воздуха и частично давление, развиваемое вентилятором, могут изменяться при

регулировке количества подаваемого в каждое помещение воздуха, в результате чего меняется и шум, излучаемый вентилятором. На рис. 2.27 показано изменение значения общего уровня звуковой мощности, излучаемой в воздуховод со стороны нагнетания радиальным вентилятором с объемным расходом воздуха $Q = 12\ 000$ м³/ч и полным давлением $P_V = 1800$ Па. В пределах возможного диапазона регулировки расхода и давления воздуха уровни излучаемого вентилятором шума меняются в широких пределах. На практике это изменение может достигать 10–15 дБ и более. Средства шумоглушения должны выбираться для наиболее неблагоприятного режима работы вентилятора.

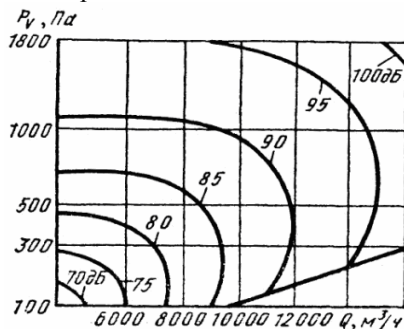


Рис. 2.27. Зависимость общего уровня звуковой мощности, излучаемой вентилятором в воздуховод со стороны нагнетания, от напора P_V и объемного расхода Q

Шум, создаваемый путевой арматурой. Уровни звуковой мощности, излучаемой в воздуховод путевой арматурой, определяются по формуле

$$L_{P_n} = \bar{L} + 10\gamma \lg v + 20 \lg d_s + 10(1 - \gamma) \lg \frac{S_{\text{пр}}}{S}, \quad (2.4)$$

где \bar{L} – отвлеченные октавные уровни шума, дБ; d_s – эквивалентный диаметр воздуховода;

$$d_s = \sqrt{4S/\pi}, \quad (2.5)$$

$S_{\text{пр}}$ – площадь проточной части арматуры, м²; S – площадь проходного сечения воздуховода, к которому подсоединяется арматура, м²; γ – экспериментально определенная величина:

Частота, Гц...	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Значение γ ...	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Отвлеченные уровни шума \bar{L} шиберов и дроссельных заслонок приведены в табл. 2.31.

Таблица 2.31

Отвлеченные уровни шума \bar{L} , создаваемого путевой арматурой, дБ

Элемент арматуры	Частота октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шибер	85	62	50	46	32	19	7	-7
Дроссельная заслонка	72	56	38	26	18	10	4	-9

При использовании формулы (2.3) следует учитывать, что скорость движения воздуха в воздуховоде v по мере увеличения степени перекрытия проходного сечения воздуховода будет уменьшаться, так как напор вентилятора с увеличением сопротивления системы увеличивается незначительно, особенно если в системе установлен регулятор статического давления.

Шум, создаваемый фасонными элементами. Шумообразование в фасонных элементах вентиляционных систем (крестовинах, тройниках, отводах) зависит от соотношения скоростей потока в магистральном канале v_m и в ответвлении $v_{отв}$, от степени турбулентности потока, от радиусов поворотов и формы поперечного сечения воздухопроводов.

Октавные уровни звуковой мощности, излучаемой в воздуховод, могут быть определены по эмпирической формуле, полученной в результате испытаний фасонных элементов воздухопроводов круглого сечения:

$$L_{P\phi} = L'_p + \Delta L_{кр} + \Delta L_{ск} + \Delta L_{в}, \quad (2.6)$$

где L'_p – генерируемая звуковая мощность, дБ; $\Delta L_{кр}$ – величина, учитывающая шумообразование на кромках соединений фасонных элементов воздухопроводов (рис. 2.28), дБ; $\Delta L_{ск}$ – величина, учитывающая соотношение скоростей в магистрали и в ответвлении (рис. 2.29), дБ; $\Delta L_{в}$ – снижение октавных уровней звуковой мощности в результате отражения от открытого конца воздуховода, дБ.

Генерируемая звуковая мощность L'_p может быть определена по номограмме, приведенной на рис. 2.30. Последовательность расчета по номограмме показана пунктирными линиями. В квадранте II кривая

$v_M/v_{отв} = 1$ пригодна для расчета тройников и крестовин с соотношением скоростей, равным единице, а также для расчета отводящих устройств.

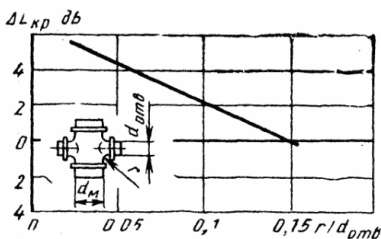


Рис. 2.28. Зависимость $\Delta L_{кр}$ от радиуса закругления поворота r и диаметра ответвления $d_{отв}$

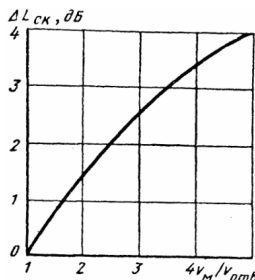


Рис. 2.29. Зависимость $\Delta L_{ск}$ от соотношения скоростей в магистральном воздуховоде v_M и ответвлении $v_{отв}$

При проектировании воздухопроводов следует обеспечить скругления в воздуховодах радиусом не менее $0,15d_{отв}$, поскольку при недостаточных радиусах шумообразование усиливается (см. рис. 2.28).

Величина ΔL_B зависит от отношения эквивалентного диаметра d_3 , воздуховода к длине звуковой волны в воздухе на данной частоте и может быть определена по табл. 2.32.

Шумообразование в прямоугольных каналах на низких частотах несколько меньше, чем в круглых. Однако и для прямоугольных каналов с достаточной для практических целей точностью можно пользоваться формулой (2.6), принимая d равным эквивалентному диаметру d_3 по формуле (2.5).

Шум воздухораспределительной арматуры. Шум воздухораспределительной арматуры возникает непосредственно в вентилируемом помещении в результате обтекания потоком воздуха кромок, решеток, сеток и других элементов, находящихся в плоскости проходного сечения такой арматуры. Он тем больше, чем больше скорость движения воздуха в системе перед решеткой.

Октавные уровни звуковой мощности, генерируемой в плиточных решетках типов Р и РР, можно определить по следующей формуле:

$$L_{P_{вр}} = 40 \lg v + 10 \lg \xi + 10 \lg S - \Delta L_f + 46, \quad (2.7)$$

где v – скорость воздуха в свободном сечении решетки, м/с; ξ – коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости в

свободном сечении решетки; S – площадь свободного сечения решетки, м^2 ; ΔL_f – поправка, дБ, определяемая в зависимости от безразмерной частоты $\bar{f} = fd/v$ (табл. 2.33); f – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц; $d = \sqrt{S}$ – характерный размер решетки, м.

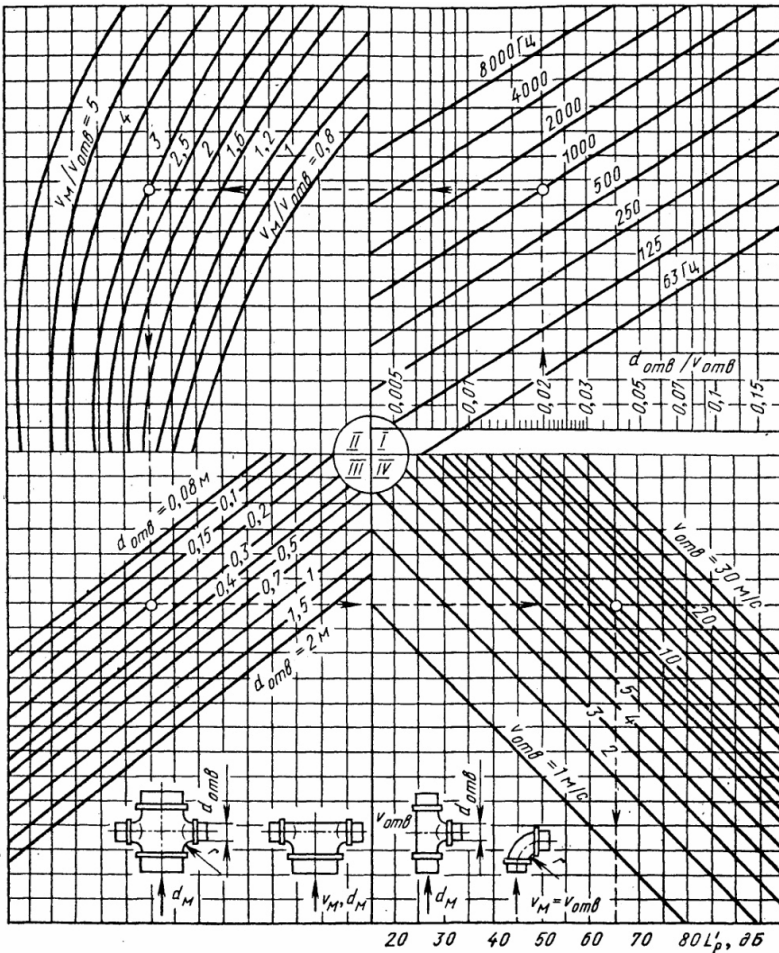


Рис. 2.30. Номограмма для определения уровней звуковой мощности шума L'_p , генерируемого воздушным потоком в фасонных элементах воздухопроводов; $d_{отв}$ – диаметр ответвления; $v_{отв}$ – скорость потока в ответвлении; v_M – то же, в магистральном воздуховоде

Таблица 2.32

**Снижение октавных уровней звуковой мощности в
результате отражения от открытого конца воздуховода
 $\Delta L_{в}$, дБ**

Эквивалентный диаметр $d_э$, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
25	24	22	19	15	10	6	2	0
50	22	19	15	10	5	2	0	0
80	20	16	11	7	3	0	0	0
100	19	14	10	5	2	0	0	0
125	18	13	8	4	1	0	0	0
140	16	12	8	4	1	0	0	0
160	16	11	7	3	0	0	0	0
180	15	11	6	2	0	0	0	0
200	14	10	6	2	0	0	0	0
225	14	9	5	1	0	0	0	0
250	13	8	4	1	0	0	0	0
280	12	8	3	1	0	0	0	0
315	11	7	3	0	0	0	0	0
350	11	7	2	0	0	0	0	0
400	10	6	2	0	0	0	0	0
450	8	5	1	0	0	0	0	0
500	8	5	1	0	0	0	0	0
560	8	4	1	0	0	0	0	0
630	7	3	1	0	0	0	0	0
710	6	3	0	0	0	0	0	0
800	5	2	0	0	0	0	0	0
1000	4	2	0	0	0	0	0	0
1250	3	1	0	0	0	0	0	0
1400	2	0	0	0	0	0	0	0
1600	2	0	0	0	0	0	0	0
2000	1	0	0	0	0	0	0	0
2500	0	0	0	0	0	0	0	0

Уровень звуковой мощности $L_{P_{вр}}$, дБ (А), возникающий на решетках площадью S , можно определять и по формуле

$$L_{P_{вр}} = L_0 + 10 \lg \frac{S}{S_0}, \quad (2.8)$$

где L_0 приведено на рис. 2.31; $S_0 = 0,01 \text{ м}^2$.

Генерация шума воздухораспределителями-насадками, которые обычно выпускаются на заданные пределы подачи воздуха, зависит главным образом от его конструктивного исполнения, а также от

расхода воздуха и его давления в системе перед воздухораспределителем.

Таблица 2.33

Поправка ΔL_f , дБ

Частота \bar{f}	1	2	3	4	6	10	20	30	40	50
Поправка ΔL_f	10	8	7,5	6,5	6	6	7,5	9,5	11	12,5
Частота \bar{f}	60	80	100	150	200	300	400	500	700	900
Поправка ΔL_f	13,5	15,5	17,5	22	26	32	36,5	40	45,5	50

На рис. 2.32 представлена зависимость уровней звука, измеренного в помещении, от объемного расхода и напора воздуха для воздухораспределителя потолочного типа. В пределах двух наклонных прямых с помощью дроссель-клапана осуществляется регулировка воздухораспределителя на необходимый расход. Даже при относительно небольших расходах воздуха 150–200 м³/ч уровень звука, генерируемого воздухораспределителем, может составить 45–50 дБА.

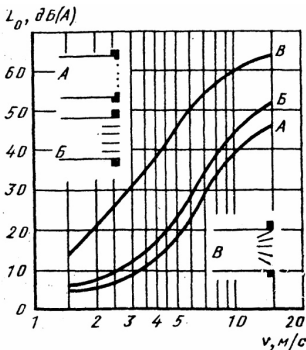


Рис. 2.31. Зависимость удельного уровня звука L_0 , возбуждаемого нагнетательными решетками вентиляционных систем от скорости движения воздуха v

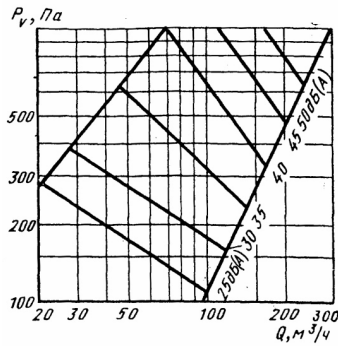


Рис. 2.32. Зависимость уровня звука, генерируемого воздухораспределителем потолочного типа от давления воздуха в воздуховоде перед воздухораспределителем P_V и количеством подаваемого воздуха Q

Высокими уровнями шума отличаются воздухораспределители эжекционного типа, осуществляющие эжекцию вторичного воздуха из помещения за счет высоких скоростей движения приточного воздуха.

В частности, пристенный воздухораспределитель со встроенным глушителем шума (рис. 2.33, а) с номинальным расходом воздуха 250 м³/ч и коэффициентом эжекции (отношением расхода вторичного воздуха к расходу приточного), равным 0,6, имеет уровни звука в помещении (рис. 2.33, б), превышающие 52–54 дБА. Уменьшение расхода воздуха ниже номинального снижает эжекцию и нарушает параметры воздуха, что, как правило, не допускается.

Снижение шума воздухораспределителей затруднено. Если для снижения шума воздухораспределителей-решеток можно использовать экранные шумоглушители, то для воздухораспределителей-насадок использовать глушители невозможно. Поэтому при выборе воздухораспределителя необходимо, прежде всего, исходить из допустимых уровней шума в обслуживаемых вентиляционной системой помещениях. Так, например, в помещении, в котором допустимый уровень звука на расстоянии 1 м от воздухораспределителя не должен превышать 35 дБА, давление в системе составляет 300 Па, предполагается установить воздухораспределитель потолочного типа (см. рис. 2.32), расход воздуха через который не должен превышать 100 м³/ч. Если необходимый расход воздуха в помещении больше, следует установить несколько воздухораспределителей.

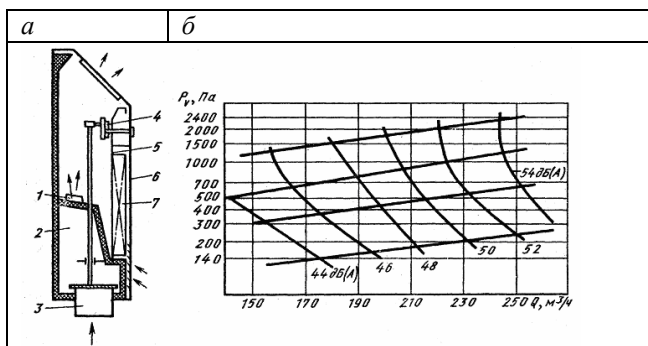


Рис. 2.33. Эжекционный воздухораспределитель:

а – воздухораспределитель; 1 – сопло; 2 – глушитель шума; 3 – патрубок; 4 – механизм регулировки; 5 – корпус; 6 – наружный кожух; 7 – водяной нагреватель; б – зависимость уровня звука дБА, генерируемого воздухораспределителем, от давления воздуха в воздуховоде P_p и количества подаваемого воздуха Q

2.8.3. Затухание шума, распространяющегося по системе вентиляции

Шум, распространяющийся по воздуховоду, затухает в элементах воздуховода, в путевой арматуре и в воздухораспределителях. Затухание звуковой мощности, распространяющейся по вентиляционной системе, определяется формулой:

$$\Delta L_c = \Delta L_{в.п} + \Delta L_{в.у}, \quad (2.9)$$

где $\Delta L_{в.п}$ – суммарное снижение уровней звуковой мощности в элементах воздуховода и в путевой арматуре, дБ;

$$\Delta L_{в.п} = \Delta L_{э.п} + \Delta L_{п.а}, \quad (2.10)$$

где $\Delta L_{э.п}$ – суммарное снижение уровней звуковой мощности в элементах воздуховода, дБ; $\Delta L_{п.а}$ – суммарное снижение уровней звуковой мощности в путевой арматуре, дБ; $\Delta L_{в.у}$ – снижение уровней звуковой мощности в воздухораспределительных устройствах, дБ;

$$\Delta L_{в.у} = \Delta L_{в} + \Delta L_{с.в}, \quad (2.11)$$

где $\Delta L_{в}$ – снижение октавных уровней звуковой мощности в результате отражения от открытого конца воздуховода, дБ; $\Delta L_{с.в}$ – снижение шума воздухораспределителем, дБ.

Снижение уровней звуковой мощности в элементах воздуховода. Снижение уровней звуковой мощности в элементах воздуховода складывается из снижения их на прямолинейных участках, в поворотах, при изменении площади поперечного сечения воздуховода и в ответвлениях.

Снижение уровней звуковой мощности на прямолинейных участках в расчете на 1 м длины прямолинейного воздуховода в зависимости от формы поперечного сечения и эквивалентного диаметра приведены в табл. 2.34.

Таблица 2.34

Снижение уровней звуковой мощности в прямолинейных воздуховодах, дБ/м

Форма проходного сечения	Эквивалентный диаметр $d_э$, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц				
		63	125	250	500	1000 и выше
Круглая	75–200	0,10	0,10	0,15	0,15	0,3
	200–400	0,06	0,10	0,10	0,15	0,20
	400–800	0,03	0,06	0,06	0,10	0,15
	800–1600	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06

Прямоугольная	75–200	0,60	0,60	0,45	0,30	0,30
	200–400	0,60	0,60	0,45	0,30	0,20
	400–800	0,60	0,60	0,30	0,15	0,15
	800–1600	0,45	0,30	0,15	0,10	0,06

Снижение уровней звуковой мощности в поворотах возникает в результате отражения звуковой энергии обратно к источнику. Снижение уровней звуковой мощности в прямоугольных поворотах воздуховодов приведено в табл. 2.35. Для плавных поворотов и прямых колен с направляющими лопатками снижение уровней звуковой мощности несколько меньше (табл. 2.36), а при угле поворота 45° и менее – практически отсутствует.

Отражение звуковой энергии может быть увеличено за счет звукопоглощающей облицовки стенок канала до и после поворота (см. табл. 2.35). Облицовывать следует боковые стенки в плоскости поворота. Длина облицованного участка должна быть не менее $2d_s$, а толщина облицовки $0,1d_s$.

Таблица 2.35

Снижение уровней звуковой мощности в поворотах, дБ

Место облицовки и ширина поворота d_s , мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Без облицовки:								
125	0	0	0	1	5	7	5	3
250	0	0	1	5	7	5	3	3
500	0	1	5	7	5	3	3	3
1000	1	5	7	5	3	3	3	3
2000	5	7	5	3	3	3	3	3
Облицовка до поворота:								
125	0	0	0	1	5	8	6	8
250	0	0	1	5	8	6	8	11
500	0	1	5	8	6	8	11	11
1000	1	5	8	6	8	11	11	11
Облицовка после поворота:								
125	0	0	0	1	6	11	10	10
250	0	0	1	6	11	10	10	10
500	0	1	6	11	10	10	10	10
1000	1	6	11	10	10	10	10	10
2000	6	11	10	10	10	10	10	10
Облицовка до и после поворота:								
125	0	0	0	1	6	12	14	16
250	0	0	1	6	12	14	16	18
500	0	1	6	12	14	16	18	18

1000	1	6	12	14	16	18	18	18
------	---	---	----	----	----	----	----	----

Таблица 2.36

Снижение уровней звуковой мощности в плавных поворотах и прямых коленах с направляющими лопатками, дБ

Ширина поворота d_s , мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
125–250	0	0	0	0	1	2	3	3
250–500	0	0	0	1	2	3	3	3
500–1000	0	0	1	2	3	3	3	3
1000–2000	0	1	2	3	3	3	3	3

Снижение уровней звуковой мощности при изменении поперечного сечения воздуховода зависит от соотношения между размерами поперечного сечения воздуховода и от частоты. Снижение октавных уровней звуковой мощности при изменении площади поперечного сечения воздухопроводов определяется по формулам:

при размерах поперечного сечения воздуховода, мм, меньших указанных в табл. 2.37,

$$\Delta L_{п.с} = 10 \lg \frac{(m+1)^2}{4m}, \quad (2.12)$$

$$m = S_1/S_2, \quad (2.13)$$

где S_1 , S_2 – площади поперечного сечения воздуховода соответственно до и после изменения сечения по пути распространения звука, м²;

при размерах поперечного сечения воздуховода, мм, равных или больших, указанных в табл. 2.37,

$$\begin{aligned} \Delta L_{п.с} &= 10 \lg m \quad (\text{при } m > 1), \\ \Delta L_{п.с} &= 0 \quad (\text{при } m \leq 1), \end{aligned} \quad (2.14)$$

Таблица 2.37

Меньший размер первого по ходу звука поперечного сечения воздуховода

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Меньший размер, мм	5000	2500	1400	700	400	200	100	50

Снижение уровней звуковой мощности в ответвлениях возникает за счет разделения энергии на ответвлениях и вследствие изменения площади поперечного сечения. Снижение октавных уровней звуковой мощности после разветвления воздуховода определяется по номограмме, рис. 2.34, или по следующей формуле.

$$\Delta L_{н.с} = 10 \lg \left[\frac{\sum_{i=2}^n S_i}{S_1} \frac{(m+1)}{4m} \right], \quad (2.15)$$

$$m = S_1 \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (2.16)$$

где S_1 – площадь поперечного сечения магистрального воздуховода перед ответвлением, m^2 ; ($i = 2, 3, \dots, n$) – площадь поперечного сечения i -го ответвления (в направлении магистрали или под углом), для которого определяется величина затухания, m^2 ; n – количество ответвлений.

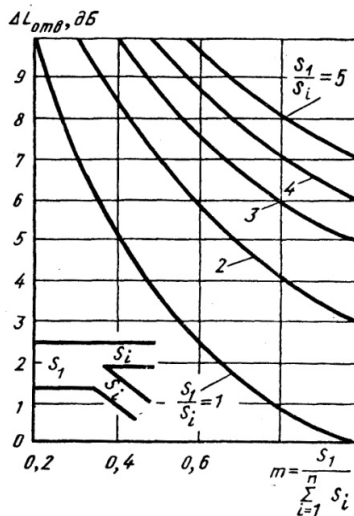


Рис. 2.34. Потери звуковой энергии на ответвлении

При определении затухания на ответвлении под углом к магистрали снижения уровней звуковой мощности в ответвлении и в повороте суммируются.

Снижение уровней звуковой мощности в путевой арматуре.
Снижение уровней звуковой мощности в путевой арматуре различных типов приведены в табл. 2.38.

Таблица 2.38

**Снижение уровней звуковой мощности в путевой арматуре
 $\Delta L_{п.а}$, дБ**

Вид оборудования	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Задвижка	0	0	1	2	4	4	5	5
Клапан угловой	0	1	3	4	4	6	6	5
Сепаратор угловой	0	1	3	4	4	6	6	5
Теплообменник	0	0	1	1	1	1	1	2
Фильтр сетчатый	0	0	0	1	1	1	2	3
Фильтр кассетный	8	8	10	12	20	24	28	25

Снижение уровней звуковой мощности в воздухораспределителях.
Снижение уровней звуковой мощности в воздухораспределителях складывается из потерь звуковой энергии на выходе или входе в воздуховод ΔL_v , которые определяются по табл. 2.32, и снижения шума воздухораспределителем $\Delta L_{с.в}$. Решетки, сетки, раструбы, жалюзи не снижают шум, распространяющийся по вентиляционной системе. Воздухораспределители-насадки, имеющие звукопоглощающую облицовку, способны снижать шум (табл. 2.39). У некоторых типов воздухораспределителей величина $\Delta L_{с.в}$ довольно высока.

Таблица 2.39

**Снижение уровней звуковой мощности
воздухораспределителем, дБ**

Тип воздухораспределителя	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ВРН 2,5; ВРП 2,5; ВРП 1,6; ВРНС 2,5	0	1	5	10	16	20	18	12
MUL-1 (Финляндия)	16	10	13,5	23	33	31,5	33	36
MUL-2 (Финляндия)	10	10	18	25	37	39	35	37
MUL-5 (Финляндия)	8	5	8	14	24	25	27	29

Оптимальная скорость движения воздуха в воздуховоде. Система вентиляции должна обеспечивать заданный расход воздуха в обслуживаемых помещениях. Аэродинамический расчет системы сводится к выбору вентилятора и определению конфигурации и

площади поперечного сечения воздухопроводов. Мощность, потребляемая вентилятором, пропорциональна произведению расхода воздуха на напор, развиваемый вентилятором. Последний пропорционален квадрату скорости движения воздуха по воздуховоду. С одной стороны, увеличение скорости позволяет уменьшить площадь поперечного сечения воздуховода, сделать его компактным, снизить затраты на изготовление и монтаж. С другой стороны, повышение скорости приводит к необходимости применения высоконапорных вентиляторов, которые при одинаковой производительности с низконапорными потребляют большую мощность, а следовательно, имеют более высокие эксплуатационные расходы. Шумообразование на путевой и воздухораспределительной арматуре, возрастающее с повышением скорости движения воздуха, вынуждает устанавливать дополнительные шумоглушители. Поэтому при проектировании системы вентиляции следует выбирать оптимальную скорость движения воздуха в воздуховоде, которая при минимальных приведенных затратах обеспечит необходимый расход воздуха в обслуживаемых помещениях и уровни шума, не превышающие допустимых.

Требования к путевой и регулирующей арматуре. В разветвлениях магистрального воздуховода для обеспечения заданного расхода воздуха в каждой ветке системы могут устанавливаться дроссель-клапаны, шиберы или дроссельные шайбы. Шумообразование в этих устройствах зависит от их коэффициента местного сопротивления. Поэтому следует избегать устанавливать регулирующие устройства, имеющие большие коэффициенты местного сопротивления, особенно вблизи воздухораспределителей, расположенных в помещениях с низкими допустимыми уровнями звукового давления. Если требуется дросселирующее устройство со значениями коэффициента местного сопротивления более 5, то лучше установить последовательно несколько регулирующих устройств с коэффициентом местного сопротивления менее 5, обеспечивающих в сумме необходимое сопротивление. Из-за вихревой зоны, которая образуется за регулируемыми устройствами, необходимо обеспечивать расстояние между ними и воздухораспределителями и ответвлениями не менее четырех эквивалентных диаметров воздуховода.

В некоторых случаях системы вентиляции и кондиционирования воздуха допускают возможность индивидуальной регулировки количества подаваемого воздуха. Поскольку давление и скорость движения воздуха меняются при закрытии подачи воздуха в помещениях, в системе должен быть установлен регулятор

статического давления, поддерживающий в воздуховоде постоянную скорость движения воздуха.

Размещение вентилятора и воздуховодов. Вентиляторы располагаются в вентиляционных камерах или на открытом пространстве. Не следует устанавливать вентиляторы рядом с помещениями, где требуется обеспечить низкие уровни шума. Воздуховоды крепят к вентилятору через эластичные вставки. Если помещения различного назначения обслуживаются одним магистральным воздуховодом, то систему вентиляции следует располагать так, чтобы ближайšie к вентилятору воздухораспределители обслуживали помещения с более высокими допустимыми уровнями шума, а воздухораспределители, удаленные от вентилятора, – с более низкими.

Магистральные воздуховоды не следует размещать в помещениях, к которым предъявляют высокие требования по допустимым уровням шума.

Не рекомендуется на одном воздуховоде устанавливать последовательно более 4–5 воздухораспределителей, так как в этом случае давление воздуха перед первым воздухораспределителем будет достаточно большим и может возникнуть необходимость в установке дроссельной шайбы с большим коэффициентом местного сопротивления, что приведет к увеличению шума, создаваемого ею.

2.8.4. Средства снижения шума в вентиляционных системах

Снижение шума, распространяющегося от вентилятора в окружающее пространство. Для снижения шума, распространяющегося от вентилятора в окружающее пространство, используется звукоизолирующий кожух. Если вентилятор расположен в камере, то для снижения шума применяют звукопоглощающую облицовку ограждений вентиляционной камеры, а для защиты от шума помещений, расположенных под камерой, предусматривают полы на упругом основании.

Уровни звуковой мощности, излучаемой в окружающее пространство вентилятором, на котором установлен звукоизолирующий кожух, определяют по формуле

$$\Delta L_{P_{\text{кож}}} = L_{P_{\text{ар}}} + \Delta L_{\text{кож}}, \quad (2.17)$$

где $L_{P_{\text{ар}}}$ – октавные уровни звуковой мощности, излучаемой вентилятором в окружающее пространство, дБ; $\Delta L_{\text{кож}}$ – снижение

шума кожухом, дБ, определяемое с учетом размеров вентилятора и поглощения им звука;

$$\Delta L_{\text{кож}} = R + 10 \lg \alpha + 10 \lg \frac{F_{\text{в}}}{F_{\text{кож}}}, \quad (2.18)$$

где R – звукоизоляция стенок кожуха, дБ; α – коэффициент звукопоглощения внутренней поверхности кожуха, равный для кожухов без звукопоглощающих облицовок $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$, для кожухов со звукопоглощающими облицовками

$$\alpha = \frac{F_{\text{в}} \alpha_{\text{пр}} + F_{\text{н.п}} \alpha_{\text{пр}} + F_{\text{к}} \alpha_{\text{к}}}{F_{\text{в}} + F_{\text{н.п}} + F_{\text{к}}}, \quad (2.19)$$

где $F_{\text{в}}$, $F_{\text{кож}}$ – площадь поверхности вентилятора и кожуха, м²; $F_{\text{н.п}}$ – площадь поверхностей кожуха, не облицованных звукопоглощающими конструкциями, м²; $\alpha_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент звукопоглощения внутренней поверхности кожуха и наружной поверхности вентилятора, принимаемый равным $\alpha_{\text{пр}} = 0,05$; $F_{\text{к}}$ – площадь звукопоглощающих конструкций, м²; $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент их звукопоглощения.

Снижение шума, распространяющегося по воздуховодам. Для снижения шума, распространяющегося от вентилятора по воздуховодам и генерируемого фасонными элементами и путевой арматурой, применяют глушители шума следующих типов: камерные со звукопоглощающим материалом (ЗПМ) по внутренним поверхностям (несоосные и соосные); камерные соосные без ЗПМ; активного типа (трубчатые и пластинчатые); экранные.

Камерные соосные глушители эффективны в основном в диапазоне низких частот. Глушители активного типа и экранные глушители – в диапазоне средних и высоких частот. Камерные глушители с ЗПМ по внутренним поверхностям камеры обладают достаточно высокой эффективностью во всем диапазоне частот, но имеют несколько большие коэффициенты местного сопротивления.

С увеличением скорости движения воздуха в глушителе быстро растет генерируемый ею шум. Поэтому в зависимости от допустимых уровней звука в помещении, ближайшем к глушителю, скорость воздуха не должна превышать следующих величин:

Допустимый уровень звука, дБ (А)...	30	40	50	55	80
Допустимая скорость воздуха, м/с...	4	6	8	10	15

Выбор глушителя шума определяется требуемой величиной акустической эффективности глушителя, устанавливаемого в систему вентиляции,

$$L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}}, \quad (2.20)$$

где $L_{\text{доп}}$ – допустимые уровни звукового давления в расчетной точке, дБ; L – уровни звукового давления в расчетной точке без учета глушителей, дБ.

Необходимую величину акустической эффективности обеспечивают установкой одного или нескольких глушителей. Для снижения широкополосного шума целесообразно применение камерных глушителей с ЗПМ. Коэффициент местного сопротивления таких глушителей составляет 1,5–2,0. Для систем с ограниченным напором рекомендуется применять глушители активного типа в сочетании с камерными соосными глушителями. Для снижения шума в зонах приема и выброса воздуха на открытых участках и от устройств вытяжки и нагнетания воздуха в помещениях могут быть использованы экранные глушители.

Экранные глушители устанавливаются перед решетками приема и выброса воздуха.

Камерные глушители должны быть расположены так, чтобы длина каждого из участков воздуховода, примыкающих к глушителю, была не менее следующих величин:

- до вентилятора или кондиционера $l_b = 4,02 S/V$;
- до устройства приема и выброса воздуха $l_b = 2,01 S/V$, где S – площадь поперечного сечения воздуховода перед глушителем, м^2 ; V – объем глушителя, м^3 .

Эффективность глушителей активного типа не зависит от места установки.

При установке камерного глушителя в систему из-за резонансных явлений в воздуховодах акустическая эффективность его уменьшается и составляет

$$\Delta L_{\text{p,c}} = \Delta L_{\text{p}} - \Delta L_{\text{p,y}}, \quad (2.21)$$

где ΔL_{p} – акустическая эффективность глушителя, присоединенного с обоих концов к длинным воздуховодам, дБ; $\Delta L_{\text{p,y}}$ – резонансное усиление шума в воздуховоде, примыкающем к глушителю, определяемое по формуле

$$\Delta L_{\text{p,y}} = 10 \lg \frac{1}{b} \quad \text{при } b < 1, \quad (2.22)$$

$$\Delta L_{\text{p,y}} = 0 \quad \text{при } b \geq 1, \quad (2.23)$$

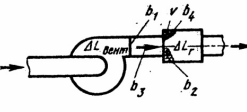
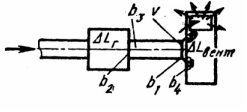
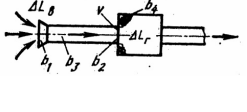
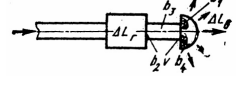
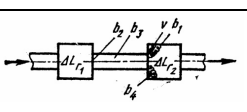
где $b = b_1 + b_2 + b_3 + b_4$ – величины, характеризующие потери звуковой энергии в системе в зависимости от места установки глушителя.

Схема возможных мест установки глушителей и положение участков, в которых имеют место потери звуковой энергии b_1, b_2, b_3, b_4 , представлены в табл. 2.40.

Снижение структурного шума. Для снижения структурного шума вентиляторы устанавливают на виброизоляторах и предусматривают полы на упругом основании.

Таблица 2.40

Схема мест установки глушителей

Схема расположения глушителей	Расположение воздуховодов	Сечения, в которых происходит потеря энергии в системе
	Воздуховод соединяет камерный глушитель с нагнетательным патрубком вентилятора	b_1 – вентилятор, нагнетание-воздуховод b_2 – воздуховод-глушитель b_3 – воздуховод b_4 – вход в глушитель
	Воздуховод соединяет камерный глушитель с всасывающим патрубком вентилятора	b_1 – воздуховод-вентилятор, всасывание b_2 – глушитель-воздуховод b_3 – воздуховод b_4 – вход в вентилятор
	Воздуховод соединяет камерный глушитель с устройством вытяжки или приема воздуха	b_1 – открытый конец (прием воздуха) – воздуховод b_2 – воздуховод-глушитель b_3 – воздуховод b_4 – вход в глушитель
	Воздуховод соединяет камерный глушитель с устройством нагнетания или выброса воздуха	b_1 – воздуховод – открытый конец (нагнетание) b_2 – глушитель-воздуховод b_3 – воздуховод b_4 – вход в воздухоораспределитель
	Воздуховод соединяет два камерных глушителя	b_1 – воздуховод-глушитель b_2 – глушитель-воздуховод b_3 – воздуховод b_4 – вход во второй глушитель

Для виброизоляции вентиляторов, как правило, применяют виброизоляторы со стальными винтовыми пружинами и дополнительными прокладками. Кроме того, для виброизоляции вентиляторов применяют резиноталлические виброизоляторы.

Если установка вентилятора на виброизоляторах не обеспечит требуемого снижения структурного шума в смежных помещениях, то в вентиляционной камере следует выполнить пол на упругом основании.

2.8.5. Шум центробежных насосов

Источники шума ЦН. Работа центробежных насосов (ЦН) сопровождается колебаниями в звуковом диапазоне частот 16–20 Гц. Отдельные источники (подшипники, пульсации, кавитации) могут вызвать инфразвуковые и ультразвуковые колебания. ЦН является генератором гидродинамического, воздушного шума и вибрации, тесно связанных друг с другом.

Источниками гидродинамического шума и вибрации собственно насоса без привода являются, прежде всего, явления, связанные с обтеканием его элементов, образование вихрей на лопатках и дисках, на стенках корпуса и в выходном патрубке, приводящее к возникновению вихревого шума и вибрации; образование пограничного слоя на стенках проточной части насоса, приводящее к появлению псевдозвука, служащего источником вибрации корпуса, а также шума, аналогичного вихревому; неоднородность потока из-за конечности числа лопаток и асимметрии корпуса. Весьма важным источником шума и вибрации являются кавитационные процессы. Наличие вращающихся деталей приводит к шуму и вибрации из-за дисбаланса.

Источниками воздушного шума, создаваемого собственно насосом, являются преимущественно вибрации корпуса и, отчасти, – вибрации трубопроводов и фундамента. Колебания трубопроводов и фундамента возбуждают колебания строительных конструкций (стен, перекрытий и т.п.), интенсивно излучающих воздушный шум.

Вибрация ЦН по своей природе может быть механического, гидродинамического, электромагнитного и аэродинамического происхождения. Источники механической вибрации и шума ЦН – неуравновешенность ротора, муфта, соединяющая валы насоса и приводного электродвигателя, подшипники качения или скольжения.

Гидродинамическую вибрацию ЦН вызывают гидродинамическая неуравновешенность ротора насоса, динамические составляющие радиальных и осевых сил, неоднородность потока на выходе из рабочего колеса насоса, кавитационные явления, а также вихреобразование и турбулентные пульсации в проточных каналах насоса.

Источники аэродинамического шума и вибрации – вращающиеся детали ЦН (вентилятор приводного электродвигателя, ротор и муфта ЦН). Вибрация от перечисленных факторов накладывается друг на друга, в результате чего вибрация ЦН и шум имеют широкий спектр частот.

Методы борьбы с вибрацией и шумом на лопастных частотах, обусловленными неоднородностью потока при обтекании элементов лопастных машин, в настоящее время разработаны достаточно хорошо. Основные из них следующие.

1. Увеличение радиального зазора δ между лопастями рабочего колеса и языком (лопатками) отводящего устройства. При удалении от решетки на расстояние, примерно равное шагу, неравномерность поля скоростей за колесом практически пропадает и, следовательно, исчезает причина, вызывающая появление дискретного шума и вибрации на лопастных частотах. В ряде случаев для их устранения достаточно зазора существенно меньшего, чем шаг. В частности, лопастные дискретные составляющие шума отсутствуют у насоса с безлопастным диффузором при размере диффузора $D_4/D_2 = 1,4$ (D_2 – наружный диаметр рабочего колеса, D_4 – наружный диаметр диффузора), что соответствует зазору между колесом и языком спирального сборника, равному 0,45 от шага лопастей колеса. При увеличении зазора при прочих равных условиях снижается уровень лопастных составляющих. Одновременно происходит увеличение радиальных габаритов насоса, а при некоторых значениях зазора δ и уменьшение его КПД. Поэтому при проектировании насоса принимают компромиссное решение между его шумностью, размерами и экономичностью.

На практике в уже изготовленных насосах с малой величиной увеличение зазора для снижения лопастного шума и вибрации может осуществляться за счет подрезки языка спиральной улитки.

Оптимальный зазор следует принимать на стадии проектирования. Минимальные уровни лопастного шума и вибрации при сокращении возможно более высокого КПД достигаются при $\bar{\delta} = \bar{\delta}^* = 0,1 n_s \%$; n_s – коэффициент быстроходности насоса.

Снижение уровней лопастной вибрации и шума при увеличении зазора δ_1 до δ_2 определяется формулой

$$\Delta L = 20 \lg \frac{\delta_2}{\delta_1}, \quad (2.24)$$

справедливой при $\bar{\delta} = (7\div 30) \%$.

Уменьшение зазоров до $\bar{\delta} = (0,1\div 0,3) \bar{\delta}^*$ приводит к резкому усилению лопастных и вихревых составляющих шума и вибрации.

2. Скос лопаток (языка) отвода или рабочего колеса. Скос вращающихся или неподвижных лопаток позволяет осуществить непрерывное взаимодействие между рабочим колесом и языком (лопатками) отводящего устройства и сгладить во времени импульс

сил, действующих на лопатки и вызывающих колебания с лопастной частотой.

Скос языка спиральной улитки – эффективная мера снижения лопастного шума и вибрации ЦН при малых значениях зазоров δ . Оптимальный угол скоса лежит в пределах 30–40°.

3. Увеличение числа лопастей z_1 рабочего колеса. Если колебательное возмущение на лопастных частотах пропорционально циркуляции вокруг лопасти, то снижение шума при увеличении числа лопастей с $(z_1)_1$ до $(z_1)_2$ при равных условиях равно

$$\Delta L = -20 \lg \left[\frac{(z_1)_2}{(z_1)_1} \right]. \quad (2.25)$$

4. Выбор благоприятного соотношения числа лопастей рабочего колеса z_1 и направляющего аппарата z_2 . Число лопаток направляющего аппарата z_2 бл, обеспечивающего при данном рабочем колесе пониженные уровни той или иной гармоник лопастной вибрации и шума, может быть определено по формуле

$$z_{2бл} = \frac{kz_1}{s-B}, \quad (2.26)$$

где k – номер гармоник; $B = 0,25 \div 0,75$; $s = 1, 2, 3 \dots$

В табл. 2.41 приведены в пределах 4–13 числа лопаток z_2 аппарата, рассчитанные по формуле (2.26) и рекомендуемые для рабочих колес с $z_1 = 5 \div 9$ с целью подавления тех или иных гармоник.

Таблица 2.41

Рекомендуемые числа лопаток направляющего аппарата z_2

z_1	Состав нейтрализуемых лопастных гармоник		
	1 и 2	1 и 3	2 и 3
5	7, 8	9, 10, 11, 12	6
6	8, 9	4, 11, 12, 13	5
7	9, 10, 11, 12	9, 13	6, 9
8	6, 10, 11, 12, 13	10	7, 10
9	13	6	5, 11

Относительно благоприятными для трех низших гармоник являются сочетания, близкие к $z_2/z_1 = 0,4$; 0,6 и 0,8. Для $z_1 = 5 \div 9$ это соответствует сочетаниям 5/12, 5/13, 7/12, 8/10, 8/13, 9/11.

5. Выбор отводящего устройства оптимального типа. Уровни лопастного шума и вибрации ЦН существенно зависят от типа отводящего устройства. Минимальную виброактивность имеет насос с безлопаточным диффузором при $D_4 = (1,35 \div 1,45) D_2$, однако при этом

увеличиваются радиальные размеры насоса и снижается его экономичность.

Перспективным типом отводящего устройства ЦН, обеспечивающим наряду с безлопаточным диффузором минимальный уровень вибрации и шума, является улитка с боковым расположением спирали, несимметричной относительно выходного сечения рабочего колеса в меридиональной плоскости (рис. 2.35). Низкие уровни лопастных вибраций при улитке с боковым расположением спирали (на 7–12 дБ ниже, чем с радиальным) объясняются расположением передней кромки языка параллельно неоднородному потоку, выходящему из рабочего колеса, а также удалением этой кромки от колеса, что значительно ослабляет пульсации скорости и давления на частоте прохождения лопастей колеса при натекании жидкости на язык.

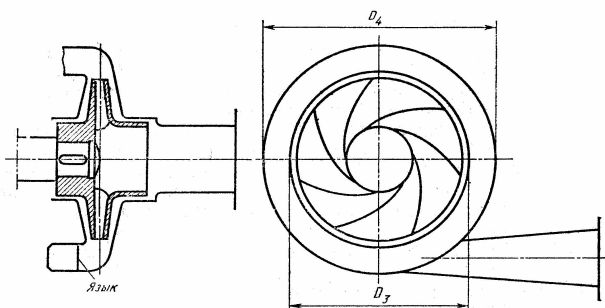


Рис. 2.35. Схема улитки с боковым расположением спирали

Преимущество улитки с боковым расположением спирали по сравнению с безлопаточным диффузором состоит в меньших радиальных размерах насоса.

Кроме улитки с боковым расположением спирали в качестве малозумного отводящего устройства может быть рекомендован трубчатый направляющий аппарат. Эллиптическая форма передней кромки которого, а также псевдобезлопаточный промежуток между входной окружностью аппарата и окружностью передних кромок обеспечивают сглаживание импульсов, гидродинамических сил, возникающих при воздействии на них неоднородного поля скоростей за рабочим колесом и снижение интенсивности лопастных вибраций и шума. По сравнению с лопаточным трубчатый направляющий аппарат обеспечивает на расчетном режиме снижение лопастной вибрации для первых пяти гармоник на 3–9 дБ во всем диапазоне подач. Насосная

ступень с трубчатым направляющим аппаратом имеет по сравнению с лопаточным (с тем же числом каналов) более пологие кривые напора и КПД и несколько большее значение максимального КПД.

6. Эксплуатация насосов на режимах, близких к режиму максимального КПД. Минимальные значения уровней лопатного шума соответствуют подаче насоса $Q = (0,8 \div 1) Q_{\text{опт}}$. Отклонение эксплуатационной подачи насоса в область недогрузок или перегрузок от указанной области подач приводит к повышению лопатного шума и вибрации на 10–15 дБ. Поэтому область рабочих подач насоса при эксплуатации следует ограничивать.

Кавитация в ЦН может возникать в рабочем колесе и отводящем устройстве. Основным фактор, определяющий возникновение кавитации в рабочем колесе, – величина относительно скорости w_1 при входе на лопасти колеса. Скорость w_1 максимальна для струйки, текущей вдоль переднего диска, у которой диаметр входа и окружная скорость u_1 наибольшие. Поэтому наиболее опасной в отношении кавитации является периферийная точка входной кромки. Возникновение местной кавитации в периферийной струйке еще не приводит к изменению напора и мощности насоса, но сопровождается появлением кавитационного шума и вибрации.

2.8.6. Шум стационарных компрессорных установок

Стационарные компрессорные установки различных типов являются источниками интенсивного шума, как в машинных залах компрессорных станций, так и на окружающей их территории. Шумы внутри и снаружи компрессорных станций имеют различное происхождение.

Современные мощные компрессорные станции следует размещать вдали от жилых помещений, общественных зданий, лабораторно-конструкторских корпусов, здравпунктов, конторских, административных и других подобных помещений или принимать соответствующие меры по снижению шума. Мероприятия по шумоглушению следует предусматривать и в том случае, если компрессорная станция встроена в производственный корпус.

Наружные стены компрессорных станций должны иметь повышенную звукоизоляцию. Наружные кирпичные

стены толщиной более чем в полтора кирпича обладают достаточной звукоизоляцией. Такую же звукоизоляцию должны иметь стены из другого материала.

Площадь оконных проемов и фонарей должна быть минимальной. Если здание компрессорной станции расположено близко к другим производственным зданиям, а также при наличии в нём тихих помещений необходимо провести проверку соответствия санитарным нормам уровня шума, проникающего в эти помещения. Если излучаемый компрессорами шум создаёт в производственных зданиях и в других помещениях уровни звукового давления, превышающие допустимые по санитарным нормам, необходимы меры по защите этих помещений от шума или снижению излучаемого шума.

Трубчатые глушители применяют для снижения шума всасывающих и выхлопных воздухопроводов компрессоров малой производительности низкого и высокого давления и небольших газотурбинных установок.

Пластинчатые глушители применяют на всасывании и выхлопе компрессорных установок. Они должны устанавливаться в шахтах или каналах без монтажных зазоров. Если по конструктивным соображениям необходимы монтажные зазоры, шахту облицовывают по периметру на всю длину шумоглушащих элементов звукопоглощающими щитами той же конструкции, но половинной толщины. При наличии обходных путей для звука эффективность глушителей может значительно уменьшиться по сравнению с расчетной.

Если в компрессорной станции установлено несколько машин, целесообразно осуществлять забор воздуха в них через общий глушитель шума. Этим уменьшаются пульсации давления во всасывающем тракте, что облегчает работу глушителя.

Комбинированные глушители шума всасывания поршневых компрессорных станций имеют высокую эффективность во всем нормируемом диапазоне частот и могут использоваться даже когда станция находится в непосредственной близости от жилой застройки. Схема такого глушителя показана на рис. 2.36. Всасываемый воздух поступает в расширительную камеру 1, где происходит выравнивание пульсаций потока. Затем следует камера 2, облицованная специальным низкочастотным звукопоглотителем. После поворота поток попадает в трубчатый глушитель 3, в котором в качестве звукопоглотителя используются маты из супертонкого базальтового волокна.

Глушители шума стравливания поршневых компрессорных станций имеют трубчатую конструкцию, звукопоглотители в них – маты из супертонкого базальтового волокна.

Для снижения шума всасывания турбокомпрессорных станций применяются пластинчатые глушители шума с кассетами, облицованными с двух сторон звукопоглощающим материалом. Кассеты образуют два последовательных канала с поворотом потока на 180° при переходе из одного канала в другой. Из-за большого расхода воздуха для каждой турбокомпрессорной станции монтируется отдельный глушитель в виде пристройки к воздухозаборной камере.

Для снижения шума стравливания турбокомпрессорных станций применяют простой по конструкции глушитель буюво-камерного типа. Основными шумоглушащими элементами в нем являются слой бута или щебня, сквозь которые проходит воздушный поток (рис. 2.37).

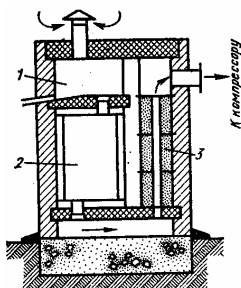


Рис. 2.36. Комбинированный глушитель шума всасывания поршневой компрессорной станции

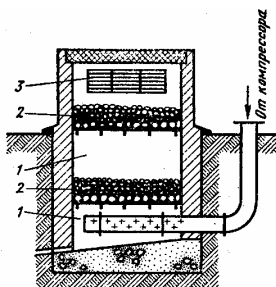


Рис. 2.37. Глушитель шума стравливания турбокомпрессорных станций:

1 – расширительные камеры; 2 – слои бутового щебня; 3 – жалюзийная решетка

Уровень шума в помещении самих компрессорных станций может значительно превышать допустимый по санитарным нормам, поэтому, необходимо принимать меры по защите обслуживающего персонала. Все рабочие места, а также приборы управления и контроля на компрессорных станциях целесообразно размещать в кабинах наблюдения или дистанционного управления, отдельных от машинного зала. Размещение на компрессорных станциях рабочих мест вспомогательного персонала не допускается. Стены, отделяющие машинный зал от кабины, должны иметь звукоизоляцию соответствующую звукоизоляции кирпичной стены толщиной в полкирпича. Смотровые окна должны быть с двойным остеклением при толщине стекол не менее 4 мм. Стекла вставляются в металлические переплёты на резиновых прокладках по периметру с максимальным зазором между ними.

Для дополнительного снижения шума в кабинах наблюдения и дистанционного управления стены и потолок их облицовывают изнутри конструкциями, имеющими высокие коэффициенты звукопоглощения в области средних и низких частот. Высокочастотный шум

достаточно хорошо снижается ограждающими конструкциями.

В кабину целесообразно вывести контрольные приборы и щит управления компрессорами и оборудовать в ней постоянное рабочее место дежурного машиниста. На время выхода в помещение компрессорной станции для контроля работы агрегатов или ремонта обслуживающий персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты от шума. Их следует надевать и снимать в тихом помещении до выхода из кабины и после входа в неё из машинного зала.

Звукоизолирующие кабины не могут полностью защитить от шума ремонтный персонал при размещении в одном помещении нескольких компрессоров, так как ремонтные работы в этом случае, как правило, проводятся при работающих соседних машинах, т.е. в условиях интенсивного шума в течение всей смены. Если для ремонта невозможно выделить отдельное изолированное помещение, то для защиты ремонтного персонала необходимо снизить или общий шум во всём помещении или в той его части, где проводятся работы. Для этого ограждают зоны ремонта акустическими экранами. В отдельных случаях применяют звукопоглощающую облицовку потолка и стен компрессорной станции.

Для снижения шума в машинных залах в ряде случаев используют звукоизолирующие кожухи, закрывающие компрессоры, вибропоглощающие покрытия трубопроводов и холодильников.

Схема комплекса шумоглушащих устройств для компрессорной станции, оборудованной поршневыми компрессорами, показана на рис. 2.38.

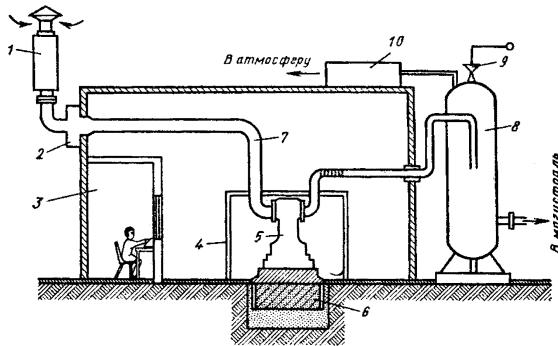


Рис. 2.38. Схема комплекса шумоглушащих устройств для компрессорной станции, оборудованной поршневыми компрессорами:

- 1 – глушитель шума всасывания; 2 – фильтр; 3 – кабина наблюдения;
 4 – звукоизолирующий кожух; 5 – компрессорный агрегат; 6 – виброизолированный фундамент; 7 – трубопроводы с вибропоглощающей облицовкой; 8 – ресивер; 9 – предохранительный клапан; 10 – глушитель шума стравливания

Снижение шума компрессоров. Частотная характеристика шума компрессора, который является частью реактивного двигателя, содержит в своем составе тональные составляющие и широкополосный шум.

Шум компрессоров снижают активными и пассивными методами. Для активных методов характерно изменение конструкции самого компрессора. При этом шум компрессора можно уменьшить увеличением расстояния между ротором и выходными направляющими лопатками; уменьшением скорости движения концов лопаток; установкой максимально возможного числа входных направляющих лопаток по сравнению с числом лопаток ротора; повышением скорости потока на входе в компрессор. Все перечисленные мероприятия возможно проводить на стадии конструктивной разработки компрессоров.

Пассивные методы борьбы с шумом компрессорных установок – это применение глушителей шума, которые устанавливаются или непосредственно на входе компрессора (главным образом в случае реактивных двигателей в самолетной компоновке) или во всасывающих каналах помещений компрессорных станций.

Значительное число промышленных предприятий оборудовано компрессорными установками различных типов. Стационарные компрессорные установки являются источниками интенсивного шума, как в машинных залах

компрессорных станций, так и на окружающей их территории (территория предприятия, расположенные вблизи тихие производственные и административные помещения; территория жилой застройки, примыкающая к предприятию). Шумы внутри и снаружи компрессорных станций имеют различное происхождение, поэтому при разработке мероприятий по их снижению следует отдельно рассматривать акустические условия в машинном зале компрессорной и на прилегающей территории.

Повышение степени механизации ремонтных, строительных и других вспомогательных работ на предприятиях привело к широкому использованию передвижных компрессорных станций (ПКС), которые также являются источниками повышенного шума.

Измерение шумовых характеристик компрессоров. Общие методы измерения шумовых характеристик компрессоров, как и других машин, регламентируются ГОСТ 8.055–73. Конкретные методы измерения шума компрессоров на открытой площадке устанавливает международный стандарт ИСО № 2151. В нем определены две серии измерений – одна при микрофоне, расположенном на расстоянии 1 м от поверхности оборудования, и другая – при микрофоне, расположенном на расстоянии 7 м от поверхности оборудования.

Установка должна располагаться на твердой отражающей поверхности на расстоянии не менее 25 м от других крупных объектов (зданий, машин и др.). Наблюдатели и измерительные приборы должны находиться на расстоянии не менее 1 м от микрофона и испытуемого оборудования.

При проведении измерений компрессорная установка должна быть прогрета и работать в стабильных условиях, аналогичных условиям при непрерывной эксплуатации, с номинальной мощностью и при нормальном рабочем

давлении. Выходное отверстие должно быть удалено от места проведения испытаний или соединено с эффективным глушителем. При необходимости проводятся испытания на холостом ходу, при этом нагнетательные клапаны из ресивера должны быть закрыты.

Определение параметров шума всасывания и выхлопа компрессорных установок может быть выполнено стандартными методами, Например, по ГОСТ 8.055–73 путем измерения уровней звукового давления в точках свободного поля, расположенных по сферически или полусферической поверхности вокруг источников.

Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого различными компрессорами и турбокомпрессорами отечественного производства в атмосферу и в помещение машинного зала, приведены в табл. 2.17.

Ориентировочные данные об уровнях звукового давления на рабочих местах в машинных залах компрессорных станций машиностроительных предприятий приведены в табл. 2.42.

Шум передвижных компрессорных станций различного типа обычно колеблется в пределах от 70 до 95 дБА. Наибольший шум в ПКС создает выхлоп приводного двигателя (чаще всего дизеля) а также шум всасывания дизеля и компрессора.

Общие требования по защите от шума стационарных компрессорных установок. При проектировании современных мощных компрессорных станций их следует размещать вдали от жилых помещений, общественных зданий, лабораторно-конструкторских корпусов, здравпунктов, конторских, административных и других тихих помещений или принимать соответствующие меры по снижению шума. Мероприятия по шумоглушению следует предусматривать и в том случае, если

компрессорная станция встроена в производственный корпус.

Наружные стены компрессорных должны иметь повышенную звукоизоляцию. При выполнении наружных кирпичных стен толщиной более чем в полтора кирпича специальных требований к их звукоизоляции не предъявляется. При выполнении стен из другого материала их звукоизолирующая способность должна быть равноценна звукоизолирующей способности кирпичной стены толщиной в полтора кирпича.

Таблица 2.42

Уровни звукового давления в помещениях компрессорных станций

Тип компрессора	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления, дБ							
ВП-50/8	87	98	88	85	89	84	85	84
ВП-20/8	82	89	82	89	81	80	75	74
ВП-10/8	84	80	82	86	82	82	76	71
ВУ-3/8	88	81	82	86	82	80	84	78
5Г-100/8	86	84	81	85	84	79	69	63
В-45	88	85	84	90	88	82	74	70
«Борец», 55В	80	83	86	86	85	79	72	65
РСК-50Х7	78	84	85	90	94	88	86	81
327-7/36	89	86	84	98	87	81	72	62
К-250-61-1	87	85	87	90	90	93	89	78
То же, в кабине машиниста	70	78	77	73	70	71	62	46
В-300-2К	88	83	83	85	87	82	74	69
«Дефриз»	90	84	85	85	85	80	77	70
«Борзинг»	89	86	80	88	83	80	77	70
Среднетиповые спектры шума в помещениях компрессорных станций низкого давления	93±4	94±3	88±4	89±3	91±3	86±3	82±3	80±3

Площадь оконных проемов и фонарей должна быть минимальной. Если здание компрессорной станции расположено близко к другим производственным зданиям, а также при наличии в самом здании компрессорной

станции тихих помещений необходимо провести проверку соответствия санитарным нормам уровня шума, проникающего в тихие помещения. Если излучаемый компрессорами шум создает в таких помещениях уровни звукового давления, превышающие допустимые по санитарным нормам, то необходимо принимать меры, предусматривающие защиту этих помещений от шума или снижение излучаемого шума.

Основными источниками шума на компрессорных станциях являются всасывающий тракт и система перепуска (сброса) воздуха в атмосферу (выхлопной тракт). Через отверстия всасывающих и выхлопных воздухопроводов шум проникает на территорию, примыкающую к компрессорной станции. Поэтому в местах выхода в атмосферу всасывающих и выхлопных воздухопроводов необходимо устанавливать глушители шума. При этом выхлопные воздухопроводы рекомендуется по возможности объединять в общий коллектор.

Глушители аэродинамического шума. Для снижения шума компрессорных установок наиболее часто применяют трубчатые или пластинчатые глушители активного типа (т.е. глушители со звукопоглощающим материалом), которые устанавливают на выходе всасывающих и выхлопных воздухопроводов в атмосферу. Поэтому при их проектировании следует учитывать концевую поправку на присоединение глушителя ΔL_k , а глушитель подбирать с таким расчетом, чтобы его эффективность во всем диапазоне частот удовлетворяла соотношению

$$\Delta L_{эф} \geq \Delta L_{тр} - \Delta L_k,$$

Необходимость внесения поправки связана с тем, что уровни звуковой мощности, излучаемой из воздуховода в атмосферу, меньше тех, которые попадают в присоединенный глушитель, на величину ΔL_k .

Трубчатые глушители могут быть применены для заглушения шума всасывающих и выхлопных воздухопроводов компрессоров малой производительности низкого и высокого давления и небольших газотурбинных установок.

Глушители пластинчатого типа также могут быть применены как на всасывании, так и на выхлопе компрессорных установок. Они должны устанавливаться в шахтах или каналах без монтажных зазоров. Если по конструктивным соображениям невозможно избежать монтажных зазоров, шахту необходимо облицовывать по периметру на всю длину шумоглушащих элементов звукопоглощающими щитами той же конструкции, но половинной толщины.

Эффективность пластинчатого глушителя зависит от толщины щита, шага щитов (величины просвета между ними), относительного свободного сечения и рабочей длины щитов. Щиты с металлическими каркасами следует монтировать в каналах с воздушными зазорами или резиновыми прокладками между щитами по длине глушителя. При невыполнении этих требований эффективность глушителей может значительно уменьшаться.

Если в компрессорной станции установлено несколько машин, забор воздуха в них целесообразно осуществлять через общий глушитель шума. При этом уменьшается пульсация давления во всасывающем тракте, что облегчает работу глушителя.

Живое сечение глушителей (суммарная площадь поперечного сечения всех свободных каналов глушителя) должно быть не меньше поперечного сечения всасывающей трубы. В этом случае гидравлическое сопротивление глушителя будет незначительным. При

поворотах потока на входе и выходе глушителя его гидравлическое сопротивление должно быть рассчитано.

Для снижения шума всасывания турбокомпрессоров ВЦНИИОТ ВЦСПС совместно с бывшим Горьковским автомобильным заводом разработаны глушители шума пластинчатого типа с кассетами, облицованными с двух сторон звукопоглощающим материалом. Кассеты образуют два последовательных канала с поворотом потока на 180° при переходе из одного канала в другой. Конструкция глушителя шума всасывания показана на рис. 2.39. В связи с большим расходом воздуха для каждого турбокомпрессора монтируется отдельный глушитель, представляющий собой пристройку к воздухозаборной камере. Стены глушителя выполнены толщиной в один кирпич, а крыша – из монолитной железобетонной плиты с уклоном.

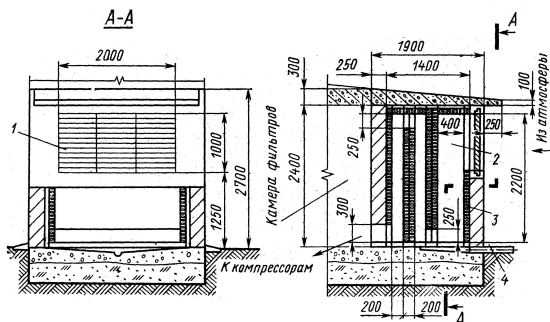


Рис. 2.39. Глушитель шума всасывания для компрессорной станции производительностью 250 м³/мин:

1 – жалюзийная решетка; 2 – расширительная камера; 3 – звукопоглощающие кассеты; 4 – труба для стока конденсата

Основными шумозаглушающими элементами являются кассеты, представляющие собой металлические рамы, заполненные минера-ловатными плитами ПП-80 толщиной 100 мм. Плиты обернуты стеклотканью типа Э-0,1, после укладки в кассеты их обшивают стальной оцинкованной

сеткой. Промежутки стен и потолка между кассетами облицованы звукопоглощающим материалом. В камеру глушителя кассеты устанавливаются без дополнительного крепления.

Поперечное сечение канала глушителя равно $0,25 \times 3,50$ м², расчетная скорость потока в узком сечении составляет 9,5 м/с. Общее гидравлическое сопротивление глушителя составляет 54 мм вод. ст. Это приводит к снижению производительности компрессора всего на 0,55 % и увеличению удельного расхода энергии примерно на 0,3 %. Таким образом, влияние глушителя на режим работы компрессора незначительно.

Эффективность глушителя в области средних и высоких частот составляет 20–25 дБ.

В тех случаях, когда компрессорная станция находится в непосредственной близости от жилой застройки, величина требуемого снижения шума может достигать 40–50 дБ в отдельных полосах частот. Здесь могут быть использованы комбинированные глушители активно-реактивного типа. Схема одного из вариантов такого глушителя, рассчитанного на компрессорную станцию общей производительностью 60–80 м³/мин, показана на рис. 2.40.

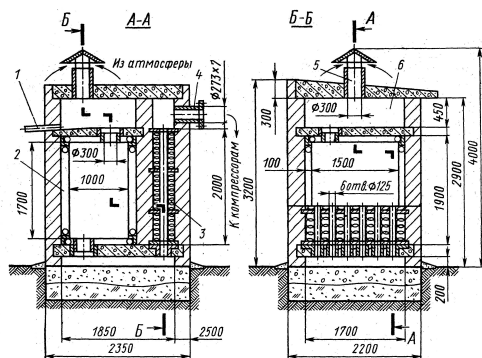


Рис. 2.40. Глушитель шума всасывания для компрессорной станции производительностью 60 м³/мин:

1 – труба для стока конденсата; 2 – звукопоглощающая кассета; 3 – глушитель активного типа; 4 – патрубок; 5 – труба для забора воздуха; 6 – расширительная камера

Глушитель представляет собой пристройку к наружной стене компрессорной. Всасываемый воздух через три фильтра, соединенные тройником, проходит в воздухозаборную трубу, оканчивающуюся расширительной камерой размером 1,6×1,4×0,6 м. Пол камеры выполнен с уклоном для слива возможного конденсата через трубу, вмонтированную в наружную стену. За расширительной камерой следует камера реактивного глушителя, облицованная специальным низкочастотным звукопоглотителем. Активный глушитель представляет собой цилиндр высотой 2,8 м с внутренним диаметром 280 мм.

Интенсивный шум возникает при стравливании сжатого воздуха в атмосферу. Для его снижения кроме трубчатых и пластинчатых глушителей может быть применен простой по конструкции глушитель буюво-камерного типа, основными шумозаглушающими элементами которого являются слои бута или щебня, сквозь которые проходит воздушный поток.

Конструкция глушителя шума стравливания показана рис. 2.41. Глушитель представляет собой камеру, врытую в землю. Стены камеры – кирпичные толщиной в полтора кирпича под землей и в один кирпич на поверхности, а пол и потолок – железобетонные с уклоном. Внутри камеры на швеллерах устанавливаются две решетки из уголков и прутков. На каждую из решеток укладывается слой булыжника, поверх которого насыпается слой бута (щебня) общей толщиной 0,5–1,0 м.

Сжатый воздух поступает в глушитель по перфорированной трубе и выходит через жалюзийную решетку в верхней части камеры. Для стока влаги,

поступающей в глушитель вместе с воздухом в нижней части камеры имеется дренажная труба, которая выводится в канализацию.

Глушитель шума целесообразно делать общим для всей компрессорной станции, поэтому выхлопные воздуховоды рекомендуется по возможности объединить в общий коллектор, который соединяется с глушителем.

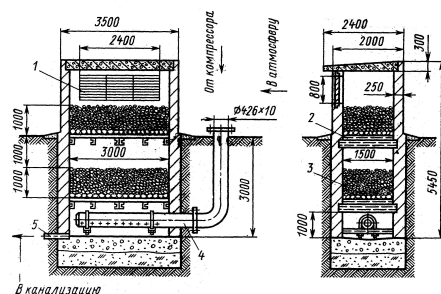


Рис. 2.41. Глушитель шума стравливания для компрессорной станции производительностью 500 м³/мин:

- 1 – жалюзийная решетка; 2 – решетка для бута; 3 – бут (щебень); 4 – перфорированная труба; 5 – труба для стока конденсата

Звукоизоляция расположенных снаружи трубопроводов всасывания и стравливания должна быть не меньше величин требуемой эффективности соответствующих глушителей, так как шум, возникающий при прохождении воздушного потока по трубе коллектора, может проникать наружу через ее стенки и явиться дополнительным источником помех.

Для снижения шума выхлопа трубокомпрессоров производительностью 500 м³/мин может быть применен глушитель камерного типа (см. рис. 2.18). Глушитель представляет собой стальной цилиндр диаметром 704 мм высотой 1965 мм. Внутри приварены четыре диска с трубками диаметром 58 мм и высотой 300 мм. Проходя через эти трубки, воздушный поток теряет часть своей звуковой энергии, что приводит к снижению шума на

выходе глушителя. Для повышения эффективности шумоглушения и снижения сопротивления в воздуховодах системы выхлопные трубы компрессоров целесообразно объединить, что в 2 раза увеличивает их пропускную способность при стравливании воздуха и снижает скорость его истечения.

Защита от шума обслуживающего персонала компрессорных станций. Шум в помещении компрессорных станций может достичь величин, значительно превышающих санитарные нормы, поэтому необходимо принимать меры по защите обслуживающего персонала.

Все рабочие места, а также приборы управления и контроля на компрессорных станциях необходимо размещать в кабинах наблюдения или дистанционного управления, отделенных от машинного зала. Размещение в компрессорных рабочих мест вспомогательного персонала не допускается. Стены, отделяющие машинный зал от пультовой, должны иметь звукоизоляцию, равноценную звукоизоляции кирпичной стены толщиной не менее чем в полкирпича.

Смотровые окна в стене пультовой должны иметь двойное остекление при толщине стекол не менее 4 мм. Стекла должны вставляться в металлические переплеты на резиновых прокладках по периметру, иметь максимально большой зазор.

Для дополнительного снижения шума в кабинах наблюдения и дистанционного управления целесообразно облицевать изнутри стены и потолок звукопоглощающими облицовками. Их следует располагать на отnose 80–100 мм от ограждающих конструкций для увеличения поглощения в области средних и низких частот. Высокочастотные составляющие в спектре шума достаточно ослабляются ограждающими конструкциями.

Внутренний размер кабины должен обеспечивать нормальные условия для работы. При постоянном нахождении в ней одного человека она должна быть не менее 2×2,5 м в плане. В такую кабину целесообразно вывести контрольные приборы и щит управления компрессорами и оборудовать в ней постоянное рабочее место дежурного машиниста. На время выхода из кабины в помещении компрессорной для контроля работы агрегатов или ремонта обслуживающий персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты от шума – противозумными наушниками типа ВЦНИИ1Т-2М или ВЦНИИ5Т-1. Они должны надеваться и сниматься в тихом помещении, т.е. до выхода из кабины и после входа в нее из машинного зала.

Звукоизолированные кабины не могут полностью защитить от шума ремонтный персонал, так как при размещении в одном помещении нескольких компрессоров ремонтные работы, как правило, проводятся при работающих других машинах, т.е. в условиях интенсивного шума в течение всей смены. Если для ремонта невозможно выделить отдельное изолированное помещение, то для защиты ремонтного персонала необходимо снизить или общий шум в помещении или в той его части, где проводятся ремонтные работы. Для этой цели можно оградить зоны ремонта акустическими экранами. В отдельных случаях применяют также звукопоглощающую облицовку потолка и стен компрессорной.

Для снижения шума в машинных залах в ряде случаев могут быть использованы звукоизолирующие кожухи, которыми закрываются компрессоры.

2.9. Шум электрических машин

Электрические машины (ЭМ) создают шум с различными уровнями звука: от 20–30 дБА (практически бесшумные специальные машины и некоторые микромашинны) до 100–110 дБА (крупные быстроходные машины). Уровень шума большинства ЭМ (в том числе двигателей единых серий) лежит в пределах 65–90 дБА. В условиях эксплуатации к шуму, излучаемому ЭМ, добавляется шум, излучаемый другими конструктивными элементами, возбуждаемыми за счет виброактивности ЭМ. Вибрационные и шумовые характеристики ЭМ нормируются государственными стандартами, а также отраслевыми стандартами и техническими условиями на конкретные виды изделий.

Методы контроля вибрационных и шумовых характеристик и нормы допустимых уровней шума и вибрации ЭМ определяются ГОСТ 11929–81, ГОСТ 12379–75* (СТ СЭВ 2412–80), ГОСТ 16372–84 (СТ СЭВ 1348–78), ГОСТ 16921–83 (СТ СЭВ 2412–80). Аналогичные документы разработаны в рамках СЭВ и МЭК.

Основными нормируемыми величинами при оценке шума ЭМ являются средний уровень звука на расстоянии 1 м от ее контура и скорректированный уровень звуковой мощности.

Для широкой номенклатуры самовентилируемых ЭМ уровень звука, дБА, примерно пропорционален квадрату частоты вращения и номинальной мощности:

$$L_A = 10 \lg \frac{Nn^2}{r_s^2} + K, \quad (2.27)$$

где L_A – средний уровень звука на расстоянии r_s , м от контура машины до измерительной поверхности; N – номинальная мощность машины, кВт; n – частота вращения, об/мин; K – эмпирическая постоянная, которая в зависимости от конструктивных и технологических особенностей ЭМ может меняться в широких пределах и

служит приблизительной оценкой степени малошумности той или иной конструкции ЭМ.

Требования к шумовым характеристикам крупных ЭМ мощностью более 1000 кВт изложены ОСТ 16.0.800.794–80. Для этих машин ввиду их конструктивных отличий зависимость (2.27) не соблюдается. У них основным источником шума является пристроенный вентилятор охлаждения со своим отдельным двигателем.

Помимо указанных выше величин, ГОСТ 16372–84 регламентирует предельные значения октавных уровней звуковой мощности, которые определяются формулой

$$L_P = L_{PA} - \Delta L_P \quad (2.28)$$

где L_{PA} – допустимое значение скорректированного уровня звуковой мощности; ΔL_P – дано в табл. 2.43.

Таблица 2.43

Значения ΔL_P

Среднегеометрическая частота октавы, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL_P , дБ	15	16	14	7	3	4	6	10

Источники шума и вибрации ЭМ. Во вращающихся ЭМ различают магнитные и механические шумы и вибрации, а также аэродинамический шум; в трансформаторах и реакторах при отсутствии принудительной вентиляции возникают только электромагнитные шумы и вибрации.

Источником магнитных вибраций являются пульсирующие или вращающиеся магнитные силы и моменты, действующие в воздушном зазоре ЭМ, а также явление магнитострикции. Величина магнитных сил зависит от электромагнитных нагрузок и конструкции активной части ЭМ. Вибрации, вызываемые этими силами, определяются динамическими характеристиками статора (собственными частотами). Магнитный шум зависит от частоты и формы колебаний статора, виброскорости,

величины и свойств излучающей поверхности. В большинстве типов ЭМ магнитный шум имеет частоты, лежащие в диапазоне 0,1–4 кГц, т.е. в диапазоне наибольшей чувствительности уха. Поскольку магнитные шумы имеют дискретный спектр, они наиболее неприятны для субъективного восприятия. Магнитные шумы излучаются главным образом самой ЭМ. Низкочастотные (двойной частоты сети) магнитные вибрации могут передаваться через опоры, фундаменты и т.д. и вызывать структурный шум.

Причины возникновения механической вибрации и шумов ЭМ не отличаются от описанных в гл. 2.7. Вибрация от дисбаланса в быстроходных ЭМ может стать заметным источником структурного шума. Интенсивность подшипниковых вибраций зависит от конструкции и качества самих подшипников, от точности обработки, сборки и монтажа ЭМ, условий работы подшипников (нагрузки, режимов смазывания), механических свойств системы «ротор – статор». Спектр подшипниковых вибраций и шумов является сплошным во всем звуковом диапазоне частот, дискретные составляющие выражены обычно слабо.

Ввиду сравнительно малой поверхности щитов подшипниковые шумы излучаются ЭМ менее интенсивно, чем магнитные. Однако подшипниковые вибрации могут быть интенсивными источниками структурных шумов. Шум от подшипников скольжения существенно ниже, чем от подшипников качения, и не является в ЭМ преобладающим. Низкочастотные вибрации от подшипников скольжения, кратные частоте вращения, связаны с несовершенством изготовления элементов подшипника и их износом.

В коллекторных ЭМ и машинах с контактными кольцами возникают шумы, вызванные трением щеток о

коллектор или о контактные кольца. Этот шум имеет высокие частоты и проявляется в крупных ЭМ постоянного тока и в микромашинах.

Следствием вращения ротора и насаженного на его вал вентилятора является аэродинамический шум ЭМ.

Шум, создаваемый вентилятором, в самовентилируемых ЭМ является превалирующим при частотах вращения выше 1500 об/мин. При частоте вращения 1500 об/мин шум вентилятора может в некоторых случаях быть соизмеримым с шумом от других источников.

В зависимости от типа ЭМ, частоты вращения, конструктивного исполнения и т.д., общий уровень шума и вибрации может определяться различными источниками. В табл. 2.44 представлены (в порядке уменьшения их значимости) основные источники шума и вибрации наиболее распространенных ЭМ.

Таблица 2.44

Источники шума и вибрации ЭМ

Тип ЭМ, частота вращения	Источник	
	шума	вибрации
Коллекторные микромашины, до 3000 об/мин	Подшипники, щетки	Дисбаланс ротора, подшипники
Однофазные асинхронные двигатели, до 3000 об/мин	Вентилятор, магнитные силы, подшипники	Магнитные силы, дисбаланс ротора, подшипники
Трехфазные асинхронные двигатели единой серии, до 1500 об/мин	Магнитные силы, подшипники, вентилятор	Дисбаланс ротора, подшипники, магнитные силы
То же, 1500–3000 об/мин	Вентилятор, подшипники, магнитные силы	Дисбаланс ротора, подшипники
Машины постоянного тока малой и средней мощности, до 3000 об/мин	Вентилятор, магнитные силы, подшипники, щетки	Дисбаланс ротора, подшипники, магнитные силы
Крупные машины постоянного тока, до 1000 об/мин (подшипники скольжения)	Вентилятор охлаждения, щетки	Магнитные силы
Высокочастотные индукторные генераторы, до 3000 об/мин	Магнитные силы, вентилятор	Дисбаланс, магнитные силы, подшипники

Турбогенераторы (подшипники скольжения)	Магнитные силы, вентиляторы, щетки	Дисбаланс, магнитные силы
Трансформаторы, реакторы	Магнитострикция, магнитные силы, вентиляторы охлаждения	Магнитострикция, магнитные силы

При решении задач снижения шума и вибрации необходимы более подробные сведения об их источниках (уровни, частоты, характер излучения и т.д.). Разделение источников шума и вибрации производится экспериментально, путем последовательного исключения источников.

Для исключения магнитных источников ЭМ испытывают при минимальном напряжении питания, максимально сниженном потоке возбуждения, на выбеге или при вращении ее от постороннего малошумного двигателя.

Для исключения аэродинамического шума ЭМ испытывают без вентилятора или при заглушенных отверстиях для охлаждающего воздуха.

Исключение вибраций и шумов подшипников качения достигается испытанием ЭМ на технологических подшипниках скольжения. Шум щеток исключают испытанием ЭМ с минимальным числом щеток либо при вращении ротора ЭМ от постороннего малошумного двигателя при поднятых щетках.

Поскольку частоты шума и вибрации от дисбаланса и магнитных сил имеют дискретный характер и могут быть рассчитаны, то эти составляющие вибрации и шума можно определить при спектральном анализе с использованием узкополосных анализаторов.

Методы снижения шума ЭМ. Методы снижения уровня шума, которые существенно не затрагивают другие показатели (в первую очередь себестоимость), в современных ЭМ, как правило, исчерпаны. Разработаны методы, позволяющие создавать ЭМ практически с

любыми заданными уровнями шума. Однако чем больше требуемое снижение уровня шума, тем сильнее возрастает себестоимость машины. Так, при снижении шума трансформатора с 60 до 54 дБА его себестоимость увеличивается на 10 %. Увеличение себестоимости наиболее массовых асинхронных двигателей единой серии при снижении шума от класса 2 к классу 3 достигает более 15 %.

Для всех ЭМ допустимые уровни шума определяются главным образом установленной мощностью, а не фактической нагрузкой, поэтому установленная мощность должна выбираться без чрезмерных запасов.

Выбор частоты вращения привода должен быть обоснован, поскольку во вращающихся ЭМ допустимые уровни шумов и вибраций в существенной степени зависят от частоты вращения.

Как правило, наиболее экономичным и эффективным путем снижения уровней шума и вибрации является уменьшение их в источнике на стадии разработки и изготовления ЭМ. Снижение уровня шума в готовом изделии затруднительно, а иногда невозможно. Исключения составляют случаи, когда причиной повышенного шума являются аномальные режимы работы (например, отсутствие или загрязнение смазки подшипников, перегрузки, отклонения качества напряжения питания от номинального и т.д.) или нарушение конструкции машины при эксплуатации (дефекты в подшипниках, коллекторах и щеточном аппарате, ослабление креплений отдельных частей машины, например подшипников, кожухов, а также расцентровка двигателя и механизма, разбалансировка и т.д.). Устранение дефектов такого рода в готовом изделии может дать определенный эффект.

На стадии разработки ЭМ для снижения магнитных и вентиляционных шумов необходимо стремиться к минимальным электромагнитным нагрузкам. Это справедливо, несмотря на то, что при уменьшении удельных нагрузок возрастает поверхность излучения машин. Поскольку звуковая мощность пропорциональна поверхности излучения, желательно, чтобы при данном объеме ЭМ имела форму с минимальной поверхностью. Конструкция ЭМ должна иметь минимально возможное число невиброизолированных тонких поверхностей, которые могут быть интенсивными излучателями шума (тонкостенные воздуховоды, кожуха, улитки, лапы, фланцы и т.д.).

Под действием магнитных сил и моментов происходят деформации сердечников статоров и трансформаторов. Форма деформации (колебаний) зависит от порядка магнитных сил и моментов и может быть различной (рис. 2.42).

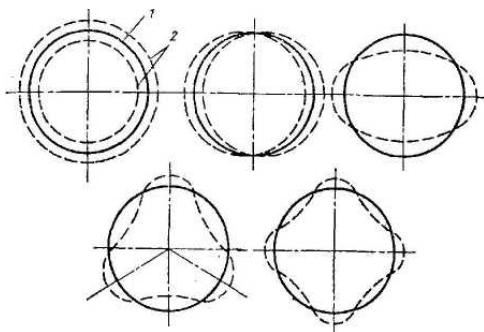


Рис. 2.42. Формы колебаний статоров электрических машин:
1 – сплошная линия – недеформированная средняя линия; 2 – штриховая – средняя линия при деформации

Для уменьшения магнитных шумов и вибраций должны быть предприняты меры по уменьшению податливости конструкции к действию магнитных сил. С этой целью

необходимо: корпуса, щиты, лапы выполнять максимально жесткими и максимально простыми и симметричными по конструкции; обеспечить хорошее качество прессовки пакета железа (величина допустимого распушения пакета должна быть указана в технической документации и контролироваться; для сохранения прессовки применяют жесткие крайние листы пакета, нажимные шайбы и пальцы и в некоторых случаях склейку пакета); посадку пакета статора в корпус производить с гарантированным натягом.

Снижение механических шумов и вибраций. Вибрации на частоте вращения снижаются качественной балансировкой роторов ЭМ. Величина остаточного дисбаланса определяется требованиями к вибрации машины в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12327–79.

Обеспечение низких уровней подшипниковых вибраций и шумов достигается комплексом конструктивных и технологических мероприятий, касающихся как выбора самого подшипника, так и условий его работы в машине.

При выборе типа и размера подшипников качения следует руководствоваться следующим:

- с ростом размеров и серии подшипника увеличивается его вибрация (на 1–2 дБ с увеличением на одну ступень по диаметру), поэтому следует выбирать размер подшипника, минимально необходимый по долговечности;
- при одинаковых размерах роликовые подшипники вызывают большие вибрации, чем шариковые;
- класс точности подшипника оказывает влияние главным образом на низкочастотные вибрации;
- на высокочастотные вибрации и шумы оказывает влияние класс шумности подшипника.

Вибрация, вызываемая подшипниками скольжения, обусловлена несовершенством изготовления деталей подшипника, цапф вала и повышенным зазором.

Устранение этих причин приводит к уменьшению вибраций.

Рекомендации по снижению вентиляционного шума.

1. Для уменьшения требуемого количества охлаждающего воздуха и величины статического напора вентилятора необходимо избегать неоправданных запасов превышения температуры обмоток над окружающей средой, стремиться к рациональному потокораспределению в ЭМ, применять наиболее теплостойкую изоляцию и т. п.

2. Для ликвидации дискретной составляющей шума на лопаточной частоте необходимо, чтобы любые неподвижные препятствия по направлению потока воздуха на выходе из вентилятора (в том числе и язык улитки) находились на расстоянии от наружных кромок лопаток, превышающем $(0,1-0,15) D_2$. При соблюдении этого условия применение нечетного числа лопаток и неравномерного шага не имеет смысла.

3. Число лопаток вентилятора следует выбирать таким, чтобы расстояние между ними (по среднему диаметру) примерно равнялось длине пути воздуха в межлопаточном канале.

4. Без необходимости не следует применять реверсивные машины. Наклон лопаток на выходе из вентилятора надо выбирать в пределах $120-135^\circ$. При профилировании лопаток вентилятора в случае встроенного расположения колеса и явно выраженных полюсах угол наклона лопаток на входе в вентилятор следует устанавливать 90° , так как обтекание потоком явно выраженных полюсов приводит к невозможности обеспечения безударного входа воздуха.

5. При наличии аксиальных каналов в якоре рекомендуется двухструйный вентилятор (рис. 2.43).

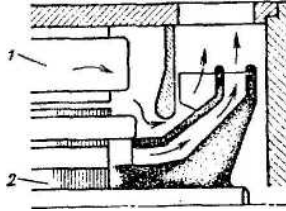


Рис. 2.43. Двухструнный вентилятор
1 – статор; 2 – ротор

6. Переднюю стенку центробежного вентилятора без ущерба для производительности можно выполнять неподвижной либо заменять кожухом (рис. 2.44).

7. Кожух вентилятора обдуваемых ЭМ целесообразно выполнять таким, чтобы на выходе воздуха поток прижимался к корпусу. Для этого достаточно изменить его направление на $5-6^\circ$, как показано на рис. 2.45.

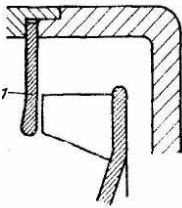


Рис. 2.44. Конструкция вентилятора с неподвижной передней стенкой 1

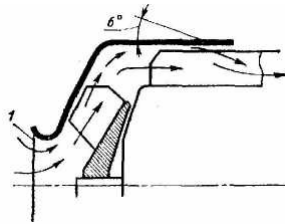


Рис. 2.45. Конструкция вентиляционного узла с диффузором 1 на входе и с поджатием потока воздуха на выходе

При частоте вращения более 3000 об/мин в обдуваемых ЭМ основные аэродинамические потери определяются конструкцией входа. В этом случае на входе в кожух необходим диффузор (см. рис. 2.45).

2.10. Звукоизоляция

2.10.1. Звукоизоляция ограждениями воздушного шума

Снижение шума, распространяющегося по воздуху (воздушный звук), наиболее радикально может быть осуществлено устройством на пути его распространения звукоизолирующих преград в виде стен, перегородок, перекрытий, специальных звукоизолирующих кожухов, кабин, выгородок и т.д. Принцип звукоизоляции ограждением заключается в том, что большая часть падающей на него звуковой энергии отражается и лишь незначительная ее часть ($\frac{1}{1000}$ и менее) проникает через ограждение. *Звукоизоляцией* называется ослабление звуковой энергии при передаче ее через ограждение.

Звукоизолирующая способность ограждения (дБ) – изоляция ограждением воздушного шума – определяется по формуле

$$R = 10 \lg \frac{P_{\text{пад}}}{P_{\text{пр}}},$$

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

Механизм передачи звука через ограждения в общих чертах состоит в том, что звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний воздуха в волне. В результате ограждение становится источником звука и излучает его в изолируемое помещение. Количество прошедшей звуковой энергии растет с увеличением амплитуды колебаний ограждения. Кроме того, характер и значение изоляции ограждением в значительной степени зависят от частоты колебаний.

Изоляция однослойным ограждением воздушного шума может быть рассмотрена для трех частотных диапазонов, как это показано на рис. 2.46.

В первом частотном диапазоне на низких частотах (до 50–100 Гц) вблизи частот собственных колебаний ограждения (основных резонансных частот) его звукоизоляционные качества определяются жесткостью ограждения и внутренним трением в материале. Однако собственная частота колебаний большинства однослойных ограждений лежит ниже 50 Гц.

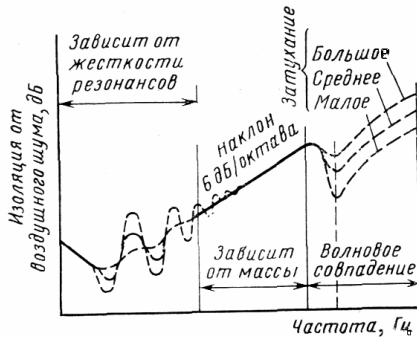


Рис. 2.46. Зависимость изоляции воздушного шума однослойным ограждением от частоты

В ограждении, имеющем ограниченные размеры, могут возникать резонансные колебания на определенных низких частотах, зависящих от размеров ограждения, его массы, жесткости и краевых условий. В частности, в тонком прямоугольном ограждении, закрепленном по четырем сторонам, возникают резонансные колебания на частотах $f_{m,n}$ (Гц), определяемых по формуле

$$f_{m,n} = \frac{\pi}{2} \left[\frac{Eh^2}{\rho_n 12(1-\mu^2)} \right]^{1/2} \left[\frac{k^2}{a^2} + \frac{l^2}{b^2} \right],$$

где E — динамический модуль упругости; h — толщина ограждения, м; ρ_n — плотность ограждения; μ — коэффициент Пуассона; k, l — целые числа; a, b — размеры ограждения.

Выше дву-трехкратной величины низшей резонансной частоты (второй диапазон) звукоизоляция обычно определяется массой ограждения, которое можно рассматривать состоящим из большого количества отдельных масс, колеблющихся независимо одна от другой. В этом частотном диапазоне жесткость ограждения не играет роли, и изоляция воздушного шума определяется по так называемому закону массы и может быть рассчитана по формуле

$$R_0 = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\omega m \cos \theta}{2\rho c} \right)^2 \right],$$

где ω – круговая частота, рад/с; m – поверхностная плотность панели, кг/м²; ρ – плотность воздуха (1,2 кг/м³); c – скорость звука в воздухе (340 м/с); θ – угол падения звуковых волн на ограждения.

Из формулы видно, что изоляция возрастает на 6 дБ при каждом удвоении частоты падающего звука.

Наибольшая изоляция R_0 достигается при нормальном падении звука на ограждение под углом падения $\theta = 0$. Если звуковые волны падают на ограждение под различными углами, общая переданная через ограждение энергия равна сумме переданных энергий при каждом угле падения. В практике обычно принимают, что углы падения θ меняются от 0 до 80°, и в этом случае изоляция ограждения $R = R_0 - 5$ дБ.

На рис. 2.47 приведена рассчитанная по формуле изоляция воздушного шума стеклами четырех различных толщин.

Следует отметить, что фактическая изоляция отличается от рассчитанной в определенных частотных диапазонах из-за принятых при выводе формулы предпосылок о бесконечных размерах ограждений и о том, что его жесткостью можно пренебречь.

В третьем частотном диапазоне звукоизоляция однослойного ограждения, начиная с определенной частоты, при которой проекция (след) звуковой волны падающего на ограждение звука становится равной свободным изгибным волнам ограждения (рис. 2.48), значительно снижается из-за так называемого эффекта пространственного резонанса – эффекта волнового совпадения.

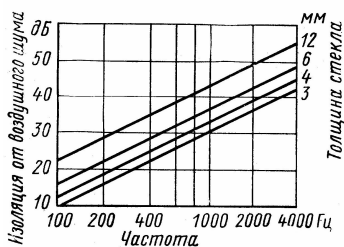


Рис. 2.47. Изоляция воздушного шума стенами различной толщины



Рис. 2.48. Эффект волнового совпадения

Резонанс в обычной колебательной системе наступает, как известно, при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний системы (например, ограждения в виде пластины). В случае же эффекта волнового совпадения, когда след падающей на ограждение звуковой волны равен длине волны изгиба ограждения, распределение давления в волне, падающей вдоль пластины, точно соответствует распределению амплитуды собственных изгибных колебаний ограждения, что приводит к интенсивному росту колебаний и снижению изоляции от воздушного шума.

При волновом совпадении

$$\frac{\lambda}{\sin \theta} = \lambda_B.$$

Для данной частоты f $\lambda = \frac{c}{f}$ и $\lambda_b = \frac{c_b}{f}$. Скорость распространения изгибных волн в ограждении (м/с) определяется формулой

$$c_b = [2nf]^{1/2} \left[\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)} \right]^{1/4}.$$

Учитывая, что $c_b = \frac{c}{\sin\theta}$,

$$f = \frac{c^2}{2\pi \sin^2 \theta} \left[\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2} \right]^{1/2}.$$

Наиболее низкая частота (критическая частота), при которой отмечается эффект волнового совпадения, наступает при касательном падении ($\theta = 90^\circ$). Критическая частота зависит от жесткости ограждения и уменьшается при увеличении его толщины.

На частотах, при которых проявляется действие волнового совпадения, особое значение приобретают жесткость ограждения и внутреннее трение в материале.

На частотах в области эффекта волнового совпадения изоляция воздушного шума снижается на 10–20 дБ, а сама область пониженной звукоизоляции, располагаясь выше критической частоты, занимает интервал частот примерно в одну октаву.

На частотах $f > 2f_{кр}$ изоляция (дБ) ограждением воздушного шума может быть рассчитана по формуле

$$R = 20 \lg \frac{\pi f_{кр} m}{\rho c} + 30 \lg \frac{f}{f_{кр}} + 10 \lg \eta - 3,$$

где $f_{кр}$ – критическая частота волнового совпадения; m – поверхностная плотность, кг/м²; ρ – плотность воздуха, кг/м³; c – скорость звука в воздухе (340 м/с); f – текущая частота, Гц; η – коэффициент внутренних потерь ограждения (для стекла $\eta = 3,1 \cdot 10^{-3}$).

В этой области частот звукоизоляция растет быстрее, чем в области, где звукоизоляция управляется поверхностной плотностью ограждения. Кроме того, в материале ограждения вступает в действие внутреннее трение.

Из практики борьбы с шумом известно, что звукоизоляция двойных ограждений с воздушным промежутком между двумя стенками эффективнее однослойной преграды равной массы.

Звукоизоляционные качества двойных ограждений помимо факторов, определяющих звукоизоляцию однослойных ограждений, также зависят от толщины воздушного промежутка и соотношения поверхностной плотности каждого из ограждений.

На рис. 2.49 показана типичная зависимость изоляции воздушного шума двойного тонкостенного ограждения с воздушным промежутком. К дополнительным факторам, определяющим изоляцию двойным ограждением воздушного шума следует отнести резонанс системы «масса – упругость – масса». Роль масс здесь играют стенки, а упругим элементом между ними служит воздух. Эта резонансная частота может быть рассчитана (при условии нормального падения звука) по формуле

$$f_0 = 120 \left[\frac{1}{(m_1 + m_2)d} \right]^{1/2},$$

где m_1 , m_2 – поверхностные плотности первого и второго ограждения; d – толщина воздушного промежутка, м.

При проектировании двойных ограждений следует стремиться к тому, чтобы эта резонансная частота лежала ниже нормируемого частотного диапазона (63 Гц). Номограмма для определения f_0 в зависимости от толщины воздушного промежутка для двойного ограждения из стекол приведена на рис. 2.50.

В двойном ограждении с воздушным промежутком изоляция высокочастотных звуков из-за резонанса, вызываемого наличием стоячих волн в воздушном промежутке, ухудшается. Ориентировочно стоячая волна (Гц) возникает при частотах

$$f = \frac{340n}{2d},$$

где d – толщина воздушного промежутка, м; $n = 1, 2, 3, \dots$

В области частот между резонансами звукоизоляция двойного тонкостенного ограждения имеет широкие максимумы, достигающие величин звукоизоляции, равных сумме изоляции (дБ) первого и второго ограждения; приближенно частоты максимумов изоляции двойным ограждением от воздушного шума могут быть определены по формуле

$$f_{n \max} \approx \frac{340n}{4d}(2n+1),$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

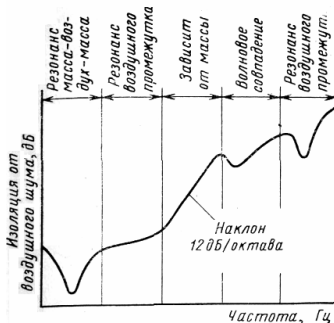


Рис. 2.49. Зависимость изоляции двойного ограждения с воздушным промежутком от частоты

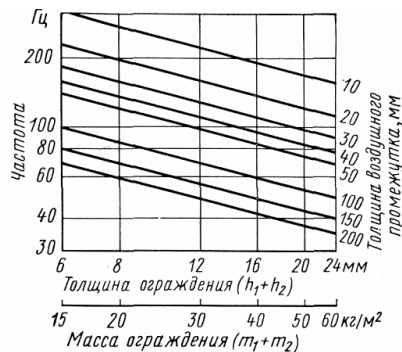


Рис. 2.50. Номограмма для определения f_0 в зависимости от толщины воздушного промежутка

Минимумы изоляции вблизи резонансных частот экспериментально наблюдаются недостаточно отчетливо, так как их частотный интервал во много раз меньше

используемой полосы частот при измерениях звукоизоляции. Влияние этих минимумов проявляется при уменьшении средних величин звукоизоляции, измеренной в полосах частот.

Существенную роль в повышении звукоизоляции легких двойных ограждений играет применение звукопоглощающих материалов, располагаемых в воздушном промежутке, что позволяет повысить звукоизоляцию двойных ограждений в первую очередь на средних и высоких частотах. Звукоизолирующими ограждениями чаще всего являются стены, перегородки, окна, ворота, двери, перекрытия. К звукоизолирующим устройствам относятся также звукоизолирующие кабины и кожухи.

Как показано выше, звукоизолирующая способность однослойных ограждений зависит от многих факторов, но в первую очередь от их массы и частоты звука. Для получения высокой звукоизоляции такие ограждения должны обладать большой массой. Как правило, звукоизоляция ограждений растет с частотой звука.

Звукоизолирующие ограждения в промышленных зданиях применяются для отделения шумных цехов и участков от малошумных, а также в качестве наружных ограждений шумных цехов.

В настоящее время многослойные конструкции находят все большее применение в практике строительства. В ряде случаев они позволяют получить значительную дополнительную звукоизоляцию по сравнению с однослойными конструкциями той же массы (до 12–15 дБ).

Звукоизолирующие качества двойной перегородки с несвязанными панелями зависят от массы панели, ширины воздушного промежутка между панелями, критической частоты каждой панели, от резонанса всей конструкции в системе «масса – воздух – масса» и от углов падения

звуковой волны. Для снижения материалоемкости однослойных бетонных конструкций при заданной звукоизоляции следует использовать элементы из легких бетонов на пористых заполнителях.

Элементы однослойных ограждений следует выполнять из материалов плотной структуры, не имеющих сквозных пор. Элементы из материала со сквозной пористостью, например крупнопористые бетоны, должны иметь наружные слои из плотного бетона или раствора толщиной не менее 2 см. Элементы ограждающих конструкций необходимо проектировать так, чтобы в них не было и в процессе эксплуатации не возникло сквозных щелей и трещин.

Изоляция воздушного шума однослойными стенами и перегородками может быть повышена устройством тонкой стенки толщиной не более 1,5 см (например, сухая штукатурка) на отnose от основной стенки. Тонкую стенку крепят по каркасу с воздушным промежутком толщиной не менее 4 см, а места ее соединений герметизируют. Воздушный промежуток целесообразно заполнять звукопоглощающим материалом.

Стыки между внутренними ограждающими конструкциями, а также между ними и другими примыкающими конструкциями должны быть устроены таким образом, чтобы в них отсутствовали и в процессе эксплуатации не возникали трещины, щели и неплотности, снижающие изоляцию воздушного шума ограждениями.

Для защиты от шума обслуживающего персонала на производственных участках с шумными технологическими процессами и особо шумными технологическими процессами и оборудованием целесообразно устройство кабин наблюдения и дистанционного управления.

В шумных цехах и на производственных участках, где невозможно устанавливать кабины наблюдения с

дистанционным управлением, устраиваются звукоизолированные укрытия для персонала, не связанного постоянно или временно с работой около шумных стендов или агрегатов. Такие укрытия представляют собой звукоизолированную кабину, изготовленную из сборных облегченных металлических панелей с уплотнением их и дверей резиновыми прокладками и снабженную системой вентиляции. С внутренней стороны укрытие должно иметь звукопоглощающую облицовку.

Для снижения шума в производственных помещениях в ряде случаев целесообразно устройство звукоизолирующих кожухов, закрывающих наиболее шумные агрегаты (если это позволяет технологический процесс). Кожухи могут быть съемными или разборными, они могут иметь смотровые окна, открывающиеся дверцы, а также проемы для ввода различных коммуникаций. При этом акустическая эффективность кожуха с перечисленными элементами должна обеспечивать требуемую величину снижения уровня шума. Кожухи выполняют из стали, дюралюминия и других листовых материалов,

Внутренние поверхности стенок кожухов следует облицовывать звукопоглощающим материалом, а в случаях, когда имеется передача вибраций от механизма на кожух, для снижения излучения звука стенки кожуха следует покрывать вибродемпфирующим материалом. При устройстве кожуха на машину, для работы которой требуется вентиляция, необходимо предусмотреть каналы для прохода воздуха, снабженные глушителями.

Рассмотрим основные методы расчета и проектирования звукоизолирующих конструкций и устройств.

Звукоизоляция ограждений должна обеспечивать снижение шума на рабочих местах до уровней, допустимых по нормам, во всех октавных полосах со

среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Требуемая звукоизоляция рассчитывается отдельно для каждой i -й ограждающей конструкции помещения (стены, окна, перекрытия, ворота, двери и др.) и для каждой из указанных октавных полос по следующим формулам:

при проникновении шума из одного помещения в другое

$$R_{\text{пр}i} = L_{\text{ш}} - 10 \lg B_{\text{н}} + 10 \lg S_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n,$$

где $L_{\text{ш}}$ – октавный уровень звукового давления в помещении с источниками шума, дБ; $B_{\text{н}}$ – постоянная защищаемого от шума помещения, м^2 ; S_i – площадь ограждающей конструкции (или отдельного ее элемента), через которую проникает шум в защищаемое от шума помещение, м^2 ; $L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный уровень звукового давления в защищаемом от шума помещении, дБ; n – общее число ограждающих конструкций или их элементов, через которые проникает шум;

при проникновении шума из помещения на прилегающую территорию (в атмосферу)

$$R_{\text{пр}i} = L_{\text{ш}} + 10 \lg S_i - 15 \lg r_i - L_{\text{доп.т}} + 10 \lg n - 11,$$

где $L_{\text{доп.т}}$ – допустимый октавный уровень звукового давления на прилегающей территории, дБ; $L_{\text{ш}}$ – октавный уровень звукового давления в помещении; n – общее число ограждающих элементов или конструкций, через которые проникает шум; S_i – площадь рассматриваемой ограждающей конструкции (или отдельного ее элемента), через которую проникает шум, м^2 ; r_i – расстояние от ограждающей конструкции или ее элемента до расчетной точки, м;

при проникновении шума с прилегающей территории в помещение

$$R_{\text{пр}i} = L_{\text{нар}} + 10 \lg S_i - 10 \lg B_{\text{н}} + 6 - L_{\text{доп}} + 10 \lg n,$$

где $L_{нар}$ – суммарный октавный уровень звукового давления, дБ, от всех источников шума в 2 м от рассматриваемой ограждающей конструкции, дБ; остальные обозначения те же, что в предыдущих двух формулах.

После проведения расчета требуемой звукоизоляции ограждений их конструкция подбирается таким образом, чтобы ее частотная характеристика изоляции воздушного шума была не ниже требуемой.

Расчет звукоизоляции должен производиться при проектировании новых ограждающих конструкций. Оценка звукоизоляции ограждающих конструкций, не поддающихся расчету, должна производиться на основании натуральных испытаний ограждающих конструкций экспериментальных зданий и по соответствующим каталогам звукоизоляционных качеств ограждений. В настоящее время разработаны методы расчета звукоизоляции однослойных ограждений и некоторых двойных ограждений.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской ограждающей конструкцией поверхностной плотностью* от 100 до 1000 кг/м² из бетона, железобетона, кирпича, керамических блоков и тому подобных материалов следует определять графическим способом – построением ломаной линии аналогичной ломаной линии $ABCD$ на рис. 2.51. Координаты точки B (f_B и R_B) частотной характеристики следует определять по графикам на рис. 2.52: f_B – в зависимости от толщины h (м) ограждающей конструкции (рис. 2.52, a) и R_B – в зависимости от поверхностной плотности m (кг/м²) ограждающей конструкции (рис. 2.52, b).

* Поверхностной плотностью условна названа масса 1 м² ограждающей конструкции.



Рис 2.51. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением

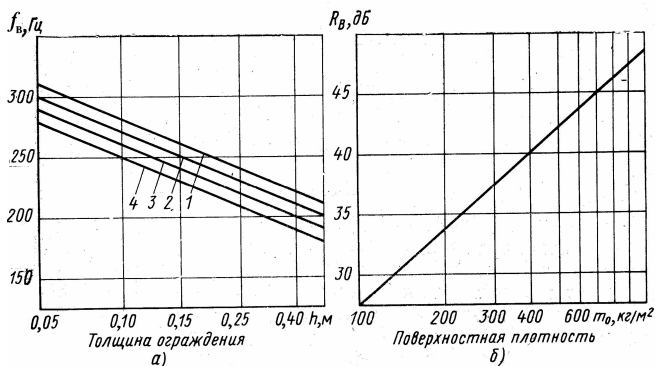


Рис. 2.52. График для определения координат точки В.

Условные обозначения: γ – объемная масса, кг/м³

1 – $\gamma \leq 1800$; 2 – $\gamma = 1600$; 3 – $\gamma = 1400$; 4 – $\gamma \geq 1200$; m_0 – поверхностная плотность, кг/м²; h – толщина ограждения, м

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 дБ на октаву до точки С с ординатой $R_C = 60$ дБ, из точки С вправо проводится горизонтальный отрезок CD.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума (дБ) однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией из металла, стекла и тому подобных материалов следует определять графическим способом – построением ломаной линии, аналогичной ломаной линии ABCD на рис. 2.53.

Координаты точек *B* и *C* следует определять по табл. 2.45. 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.



Рис. 2.53. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением из металла или стекла

Таблица 2.45

Определение координат точек

Материал	f_B	f_C	R_B	R_C
Сталь	6000/ <i>h</i>	12000/ <i>h</i>	39	31
Алюминиевые сплавы	6000/ <i>h</i>	12000/ <i>h</i>	32	22
Стекло силикатное	6000/ <i>h</i>	12000/ <i>h</i>	35	29
Стекло органическое	17000/ <i>h</i>	34000/ <i>h</i>	37	30
Асбестоцементные листы	11000/ <i>h</i>	22000/ <i>h</i>	36	30
Сухая штукатурка	19000/ <i>h</i>	38000/ <i>h</i>	39	30

Примечание. *h* – толщина ограждения (без учета ребер), мм

Частотную характеристику изоляции воздушного шума (дБ) цилиндрической стальной оболочкой при излучении шума внутри оболочки следует определять графическим способом – построением ломаной линии, аналогичной ломаной линии *ABCD* на рис. 2.54.

Координаты точек *B* и *C* определяют по формулам

$$f_B = \frac{1,6 \cdot 10^6}{D};$$

$$R_B = 74 - 20 \lg \frac{D}{h};$$

$$f_c = \frac{1,2 \cdot 10^4}{h};$$

$$R_C = 31,$$

где D – диаметр оболочки, мм; h – толщина оболочки, мм.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума двойным глухим остеклением при одинаковой толщине стекол следует определять путем прибавления величины $5 + \Delta R_2$ к значениям частотной характеристики изоляции воздушного шума, построенной для однослойного ограждения из стекла.

Величину ΔR_2 следует определять по графику на рис. 2.55 в зависимости от толщины воздушного промежутка между стеклами и частоты резонанса f_p (Гц), определяемой по формуле

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{dm_1 m_2}},$$

где m_1, m_2 – поверхностная плотность стекол, кг/м²; d – толщина воздушного промежутка, м.

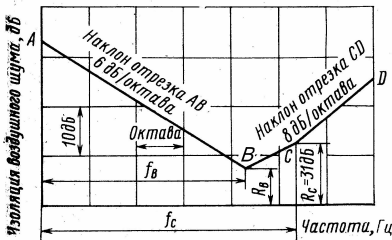


Рис. 2.54. Частотная характеристика изоляции воздушного шума стальной цилиндрической оболочкой

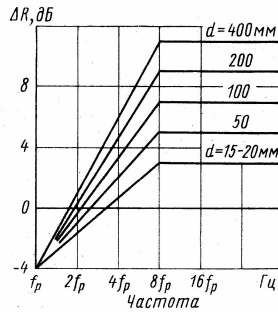


Рис. 2.55. График для определения повышения изоляции воздушного шума двойным остеклением в зависимости от толщины воздушного промежутка

Частотную характеристику изоляции воздушного шума двойным глухим остеклением при разной толщине стекол

(отношение толщин 0,4–0,8) следует определять путем прибавления величины $\Delta R_2 + \Delta R_3$ к значениям частотной характеристики изоляции воздушного шума, построенной аналогично указанной на рис. 2.56.

Координаты точек B и C следует определять по формулам

$$f_B = \frac{6000}{h_1};$$

$$f_C = \frac{12000}{h_2};$$

при этом $R_B = R_C = 35$ дБ, где h_1 и h_2 – толщина стекол в мм ($h_1 > h_2$).

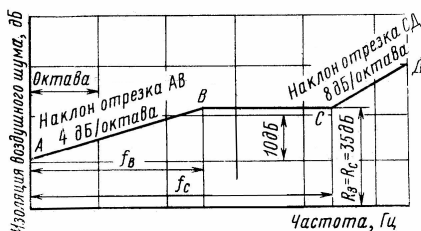


Рис. 2.56. Частотная характеристика изоляции воздушного шума двойным остеклением при разной толщине стекол

Величину ΔR_2 следует определять по графику рис. 2.55. Величина ΔR_3 составляет 3 дБ при $h_2/h_1 = 0,4 - 0,5$ и 4 дБ при $h_2/h_1 = 0,6 \div 0,8$.

В табл. 2.46 и 2.47 приведены систематизированные данные о звукоизоляционных качествах ряда стен, перегородок и перекрытий, полученные в результате натуральных испытаний (и которые не могут быть определены расчетным путем).

Таблица 2.46

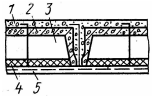
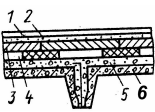
Изоляция воздушного шума двойными стенами и перегородками, дБ

Элемент конструкции	Толщина, мм		Средняя поверхностная плотность, кг/м ²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
	элемента	воздушного зазора		125	250	500	1000	2000	4000
Две кирпичные стены на общем фундаменте	380 и 510	150	1400	49	51	60	68	74	81
Две кирпичные стены на раздельном фундаменте	510 и 380	300	1400	61	65	72	80	88	95
Две железобетонные плиты на общем фундаменте	40	40	180	36	43	42	46	44	47
Две гипсошлакобетонные плиты на общем фундаменте	80	40	200	38	43	44	52	58	50
Гипсошлакобетонные панели толщиной 100 мм с воздушным промежутком 40 мм	240	40	260	43	46	44	55	67	66

Таблица 2.47

Изоляция воздушного шума перекрытиями, дБ

Эскиз	Конструкция перекрытия	Толщина элемента, мм	Средняя поверхностная плотность, кг/м ²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
				125	250	500	1000	2000	4000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1 – бетонная стяжка 2 – железобетонная плита типа ИИ-64 марки П-1-1	50 60	310	39	39	46	54	63	68
	1 – линолеум 2 – гипсовая стяжка 3 – шлакобетонная плита 4 – упругие прокладки 5 – бетонная стяжка 6 – железобетонная плита типа ИИ-64	4 5–7 45 20–25 50 60	380	46	47	55	63	65	70

	марки П-1-1								
	1 – бетонная стяжка	50							
	2 – железобетонная плита типа ИИ-64 марки П-1-1	60	340	47	50	55	59	64	69
	3 – воздушный зазор	240							
	4 – минераловатные плиты	50	–	–	–	–	–	–	–
	5 – штукатурка по сетке-рабице	20							
	1 – линолеум	4							
	2 – гипсовая стяжка	5–61							
	3 – шлакобетонные плиты	40	560	51	54	60	67	69	61
	4 – упругие прокладки	20							
	5 – бетонная стяжка	100							
	6 – железобетонная плита типа ИИ-64 марки П-1-1	60							

Окончание табл. 2.47

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1 – бетонная стяжка	100							
	2 – железобетонная плита типа ИИ-64 марки П-1-1	60	510	50	55	56	60	65	68
	3 – воздушный зазор	300							
	4 – штукатурка по сетке	20							
	1 – бетонная стяжка	100							
	2 – железобетонная плита типа ИИ-64 марки П-1-1	60	520	53	52	56	50	68	68
	3 – воздушный зазор	240							
	4 – минераловатные плиты	50							
	5 – штукатурка по сетке-рабице	60							
	1 – пол из деревянных щитов, подшитых сеткой из асбеста	60							
	2 – упругая прокладка	–	530	46	55	59	62	66	67
	3 – воздушный зазор	240							
	4 – бетонная стяжка	100							

	5 – железобетонная плита типа ИИ-64 марки П-1-1	60							
	1 – бетонная стяжка	100							
	2 – железобетонная плита типа ИИ-63 марки П-1-1	60	500	42	47	56	60	65	68

При проектировании ограждающих конструкций, пересекаемых каналами и трубопроводами, необходимо предусмотреть меры по предотвращению снижения звукоизоляции образуемыми щелями, отверстиями и неплотностями. В стенах, перегородках и перекрытиях производственных зданий следует предусматривать устройство проемов в местах пересечения конструкций коммуникациями площадью, в 1,5–2 раза большей площади сечения, пересекающей ограждение коммуникации, с последующим заполнением пространства между ограждающей конструкцией и коммуникациями звукопоглощающим или вязкоупругим материалом, который следует закрывать с двух сторон крышками из дерева, металла и других материалов.

Если ограждающие конструкции пересекаются токопроводящими коммуникациями, то заполнение пространства между ограждающими конструкциями и коммуникациями должно предусматриваться электроизолирующим вязкоупругим материалом (кабельная масса и т.п.).

В конструкциях стен, перегородок и перекрытий следует предусматривать проемы в местах пересечения их несколькими коммуникациями, которые следует объединять в пакеты и коллекторы, а также заделку проемов одновременно с возведением этих ограждающих конструкций. Присоединение трубопроводов к коллекторам следует предусматривать через гибкие вставки или виброизолирующие прокладки во фланцах.

2.10.2. Звукоизоляция ограждающих конструкций кабин наблюдения, дистанционного управления, укрытий, кожухов

Требуемую частотную характеристику изоляции воздушного шума $R_{к.тр}$ (дБ) ограждающими конструкциями кабин наблюдения, дистанционного управления и укрытий определяют по приведенным выше формулам.

Кабины и укрытия следует предусматривать герметичными со звукопоглощающей облицовкой внутренних поверхностей ограждающих конструкций.

Кожухи должны полностью закрывать агрегаты, машины, оборудование (если это позволяет технологический процесс и условия эксплуатации оборудования). Кожухи необходимо проектировать съемными или разборными, со смотровыми окнами, открывающимися дверцами, а также проемами для ввода различных коммуникаций. Кожухи рекомендуется проектировать из листовых несгораемых или трудносгораемых материалов. На внутренних поверхностях стенок кожухов следует предусматривать облицовку из звукопоглощающего материала, а в случаях, когда происходит передача вибраций от механизма на кожух, надо предусматривать на стенках кожуха покрытие вибродемпфирующим материалом. Толщина вибродемпфирующего покрытия должна быть в 2–3 раза больше толщины стенки кожуха. При устройстве кожуха на машину, для работы которой требуется вентиляция, необходимо предусматривать каналы с глушителями для прохода воздуха.

Требуемую частотную характеристику изоляции воздушного шума $R_{к.тр}$ (дБ) стенками кожуха можно определить по формуле

$$R_{\text{к.тр}} = L - L_{\text{доп}} - 10 \lg \alpha_{\text{обл}} + 5,$$

где L – октавный уровень звукового давления в расчетной точке, дБ; $L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный уровень звукового давления в расчетной точке, дБ; $\alpha_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения предусмотренной облицовки внутренних поверхностей кожуха.

Частотная характеристика изоляции воздушного шума (дБ) стенками кожуха может быть определена изложенным выше расчетным путем. Если кожух имеет форму полуцилиндра, вводимую в расчет величину диаметра следует увеличить в 1,5 раза.

В отверстиях в стенках кожуха должны предусматриваться щелевые глушители, обеспечивающие снижение шума не ниже требуемой изоляции воздушного шума стенок кожуха $R_{\text{к.тр}}$. Ширину щели в таких глушителях следует принимать 20–40 мм при двусторонней и 10–20 мм при односторонней звукопоглощающей облицовке щели. Толщину звукопоглощающей облицовки щелевых глушителей следует принимать не менее 50 мм, длину глушителей 0,5–1 м.

Установку кожухов следует предусматривать на полу на резиновых прокладках; соприкосновения элементов кожуха с агрегатом, машиной не допускается.

2.11. Звукопоглощение

Снижение шума в производственных помещениях может быть осуществлено с помощью звукопоглощения. При падении звуковых волн на звукопоглощающие материалы и конструкции значительная часть звуковой энергии поглощается, меньшая часть отражается, и поэтому тем меньше плотность звуковой энергии в производственном помещении.

Звукопоглощающие материалы и конструкции характеризуются коэффициентом звукопоглощения α – отношением разности падающей и отраженной от поверхности акустической энергии к падающей энергии или эквивалентной площадью звукопоглощения A – площадью поверхности с коэффициентом звукопоглощения, равным единице, которая могла бы поглотить такое же количество звуковой энергии, как и данная звукопоглощающая конструкция.

Под акустической обработкой помещений обычно понимается облицовка всех или части внутренних поверхностей помещения звукопоглощающим материалом или специальными звукопоглощающими конструкциями, размещение в помещении штучных поглотителей.

Звукопоглощающие конструкции предназначены для поглощения звука. К таким конструкциям относятся звукопоглощающие облицовки ограждающих поверхностей помещений, штучные звукопоглотители, облицованные поверхности акустических экранов, а также звукопоглощающие облицовки, применяемые в камерных глушителях и в звукоизолирующих кожухах.

Акустическая характеристика звукопоглощающей конструкции или штучного звукопоглотителя представляет собой соответственно частотную характеристику коэффициента звукопоглощения или частотную характеристику приходящейся на один звукопоглотитель эквивалентной площади звукопоглощения (m^2).

Эффективность применения звукопоглощающих облицовок и штучных звукопоглотителей зависит от ряда факторов: акустических характеристик помещения, формы помещения, расположения в помещении источников шума и рабочих мест. Наиболее эффективно применение звукопоглощающих облицовок потолков в невысоких

помещениях с большой площадью, имеющих малое звукопоглощение.

Эффективность облицовок повышается, если помещение будет вытянуто в плане. Это происходит от того, что в низких помещениях большой площади пол и потолок являются сильно отражающими поверхностями. Шум, отраженный попеременно от пола и потолка, распространяется на большие расстояния от источника по всем направлениям почти без потерь. В таких помещениях облицовка потолка хорошо поглощающим звук материалом является наиболее эффективной.

При размещении в большом по площади цехе нескольких единиц очень шумного оборудования применение звукопоглощающих облицовок дает наибольший эффект для рабочих мест у менее шумного оборудования. В этом случае целесообразно сосредоточить максимальное количество звукопоглощения вблизи шумного оборудования, например, подвесив над ним штучные звукопоглотители. В помещениях большой площади стены почти не играют роли в отражении звука и поэтому можно их не облицовывать. Наоборот, в высоких и вытянутых помещениях, где ширина меньше высоты, большое значение имеет облицовка стен.

Звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители целесообразно применять в цехах пружковых автоматов, холодной высадки и клепальных, на участках холодной штамповки и виброобработки, в машинных залах вычислительных центров и машиносчетных бюро.

Звукопоглощающие облицовки обычно размещают на потолке и стенах. Площадь облицовываемой поверхности для достижения максимально возможного эффекта должна составлять не менее 60 % общей площади ограничивающих помещение поверхностей. Если стены

помещения или перекрытия запроектированы светопрозрачными и площадь свободных поверхностей мала, следует применять звукопоглотители кулисного типа или использовать штучные поглотители различных конструкций. С помощью звукопоглощающих облицовок и конструкций можно обеспечить снижение шума в производственных помещениях до 8–10 дБ.

Наиболее часто для производственных помещений применяются звукопоглощающие облицовки, состоящие из пористых волокнистых звукопоглощающих материалов типа матов или мягких плит, закрытых со стороны помещения перфорированными экранами (рис. 2.57, *а*) которые защищают звукопоглощающий материал от механических повреждений и обеспечивают удовлетворительный декоративный вид. Толщина звукопоглощающего волокнистого материала принимается равной 50–100 мм. Чтобы предотвратить высыпание волокнистых материалов (особенно стекломинераловатных) через отверстия перфорации, между листом экрана и волокнистым материалом помещается слой тонкой акустически прозрачной ткани.

При необходимости снижения шума, преимущественно в области низких частот, облицовку следует относить от поверхности стен на 100–150 мм, оставляя между потолком или стеной и облицовкой замкнутый по периметру воздушный зазор (рис. 2.57, *б* и *в*).

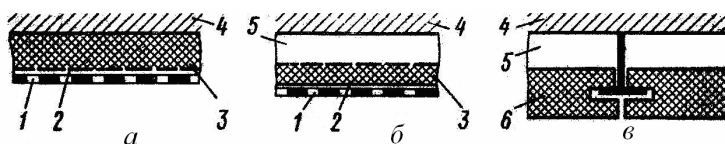


Рис. 2.57. Схемы акустических облицовок:

а – без воздушного зазора; *б* – с воздушным зазором; *в* – с использованием плит из звукопоглощающего материала; 1 – защитная конструкция; 2 – защитная оболочка; 3 – звукопоглощающий материал; 4 – стена или потолок; 5 – воздушный промежуток; 6 – плита из звукопоглощающего материала

Штучные звукопоглотители, например, звукопоглощающие кулисы, могут выполняться из легких дюралюминиевых профилей, наполнителем является супертонкое стекловолокно в оболочке из стеклоткани.

В качестве защитной конструкции применяется тонкий алюминиевый перфорированный лист или лист из акустически прозрачного стеклопластика. В ряде случаев вместо таких листов можно применять и одну декоративную стеклоткань.

В производственных зданиях, имеющих фермы, световые и аэрационные фонари в междуферменном пространстве располагают кулисные поглотители в виде звукопоглощающих балок пролетом до 6–12 м. Кулисные звукопоглотители обеспечивают значительно большее звукопоглощение, чем эквивалентные им по площади плоские звукопоглощающие облицовки.

Находят применение также штучные звукопоглотители, представляющие собой объемные конструкции в виде призм, шаров и т.п., подвешиваемых в помещении. Их выполняют из перфорированных листов твердого картона, пластмассы, металла или рулонной алюминиевой фольги, оклеенных изнутри войлочной тканью или заполненных звукопоглощающим материалом. Такие штучные звукопоглотители целесообразно располагать в непосредственной близости от источника шума.

При облицовке стен и потолков звукопоглощающие конструкции можно размещать в виде сплошной облицовки, облицовки в шахматном порядке, облицовки в виде полос (с разрывом), в виде подвесных акустических балок и панелей (кулис).

Схемы рекомендуемых размещений упомянутых выше звукопоглощающих конструкций на потолках и перекрытиях производственных корпусов приведены на

рис. 2.58, а общий вид цеха с разнотипной облицовкой стен и потолка дан на рис. 2.59.

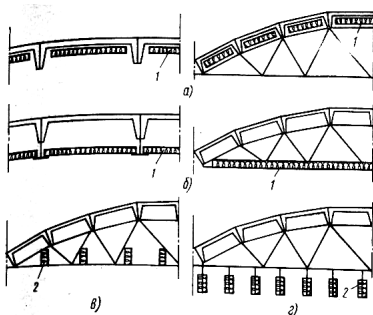


Рис. 2.58. Схемы размещения звукопоглощающих конструкций на потолках:
а – в плитах перекрытия; *б* – в виде подвесного потолка; *в* – в межферменном пространстве на уровне нижнего пояса ферм;
з – под нижним поясом ферм; *1* – звукопоглощающие щиты; *2* – акустические балки

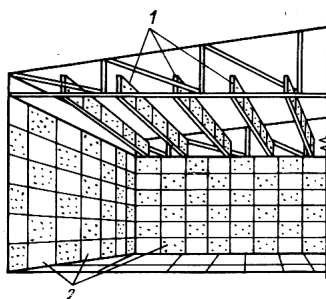


Рис. 2.59. Общий вид цеха со звукопоглощающей облицовкой разного типа:
1 – акустические балки в межферменном пространстве; *2* – звукопоглощающие щиты, расположенные в шахматном порядке

В корпусах с фонарным перекрытием для облицовки перекрытий рекомендуется применять акустические балки. В некоторых случаях целесообразно размещение звукопоглощающих конструкций с откосом в виде подвесного потолка, что дает возможность скрыть технологические коммуникации (вентиляционные короба, трубопроводы и т.п.) и улучшить внешний вид производственного помещения (рис. 2.60).

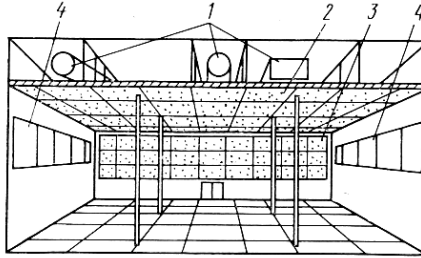


Рис. 2.60. Общий вид цеха со звукопоглощающим подвесным потолком:

1 — технологические коммуникации, скрытые подвесным звукопоглощающим потолком; 2, 3 — звукопоглощающая облицовка потолка и стены; 4 — оконные проемы

Основой всякой звукопоглощающей конструкции является звукопоглощающий материал.

Звукопоглощающие материалы помимо своего основного назначения должны удовлетворять ряду требований, связанных с конкретными условиями их работы в конструкциях. Так, материалы, применяющиеся в конструкциях звукопоглощающих облицовок, штучных звукопоглотителей и акустических экранов, должны отвечать физико-техническим и санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к строительным материалам, в зависимости от назначения помещения и характера протекающих в нем производственных процессов. Для этого следует отдать предпочтение материалам с высокой био- и влагостойкостью, достаточной механической прочностью. Материалы должны быть несгораемыми или трудносгораемыми в соответствии с категорией здания по пожароопасности. Кроме того, материалы не должны выделять частиц звукопоглотителя, токсичных веществ и неприятных запахов.

При выборе звукопоглощающих материалов для вентиляционных глушителей необходимо учитывать назначение установок (приточная, рециркуляционная, вытяжная) и характер помещения, которое обслуживают

установки. Если звукопоглощающий материал применяется в шумоглушащей конструкции приточной вентиляционной системы, он не должен выделять пыль (непригодны, например, минеральные ваты, керамическая крошка). В вентиляционных системах, обслуживающих пожароопасные помещения, эти материалы не должны быть горючими. Материалы, применяемые для облицовки приточных вентиляционных камер, должны быть еще влагоустойчивыми.

К звукопоглощающим материалам полной заводской готовности с полужесткой волокнистой или ячеистой структурой относятся: маты базальтовые звукопоглощающие, изготовленные из холстов на основе штапельных супертонких базальтовых волокон диаметром не более 3 мк в оболочке из стеклоткани с объемной массой не более 35 кг/м³; плиты из поропласта поливинилхлоридного полужесткого со среднепористой структурой (типа «Винипор»), объемной массой 200–400 кг/м³ с огнезащитной пропиткой.

Волокнистые и сыпучие звукопоглощающие материалы, являющиеся поглотителем в конструкциях звукопоглощающих облицовок, применяются только в сочетании с защитными оболочками и перфорированными экранами, предохраняющими слои звукопоглотителя от механических повреждений и препятствующими высыпанию мелких волокон и пыли.

В качестве защитных оболочек и перфорированных экранов в многослойных звукопоглощающих конструкциях применяются: ткани или рогожки из стеклянного волокна, полиэтилентерефталатная пленка; гипсовые перфорированные плиты, оклеенные с тыльной стороны технической бязью; асбоцементные перфорированные листы; негорючие стеклопластиковые оболочки; перфорированные стальные или алюминиевые

листы; металлические мелкоячеистые сетки; просечно-вытяжные листы. При этом применение перфорированных экранов не исключает обязательного использования защитных оболочек.

Защитные оболочки и перфорированные экраны не должны снижать коэффициент звукопоглощения защищаемых ими материалов в октавной полосе со среднегеометрической частотой 4000 Гц более чем на 15 %. Для выполнения этого требования защитные оболочки из ткани или рогожки должны обладать сопротивлением продуванию постоянным потоком, определяемым по ГОСТ 16297–70, не превышающим 200–400 Нс/м³, а толщина полиэтилентерефталатных пленок не должна превышать 25 мк.

Защитные перфорированные экраны, выполненные из металла, применяются в сочетании с пористыми поглотителями. Толщина таких экранов должна выбираться в пределах 0,5–2,0 мм при живом сечении, образуемом отверстиями перфорированного экрана, не менее 20 %. Диаметры отверстий следует выбирать в пределах 7–2 мм.

В качестве звукопоглощающего слоя в конструкциях звукопоглощающих облицовок применяются пористые, неорганические, органические и композиционные рыхлые, сыпучие материалы и изделия из них:

- вата минеральная, получаемая распылением в стекловидные волокна из металлургических, топливных шлаков и силикатных горных пород с диаметром волокон не более 8 мк с содержанием корольков не более 3 %;

- вата стеклянная бесщелочная, представляющая собой слой разрыхленных пряжей однонаправленных некрупных волокон со средним диаметром не более 10 мк, вытягиваемых из расплава боросиликатного стекла с

содержанием щелочей не более 2 % и объемной массой в свободном состоянии 30 кг/м^3 ;

– вата из супертонкого стеклянного волокна, представляющая собой многослойный холст перепутанных штапельных волокон диаметром не более 3 мк, полученных из стекла щелочного состава способом раздува горячими газами и удерживаемых между собой силами естественного сцепления объемной массой $17\text{--}25 \text{ кг/м}^3$;

– вата из супертонкого базальтового волокна, представляющая собой слой перепутанных штапельных волокон диаметром не более 2 мк, получаемых способом раздува первичных непрерывных волокон горячими газами, удерживаемых между собой силами естественного сцепления объемной массой $17\text{--}25 \text{ кг/м}^3$;

– мелкофракционный керамзит, получаемый из глины путем вспучивания и последующего обжига во вращающихся печах с размером гранул 3–7 мм и рекомендуемой плотностью набивки $800\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$;

– маты минераловатные на синтетическом или крахмальном связующем с пластифицирующими добавками или без них объемной массой: мягкие $50\text{--}75$ и полужесткие $100\text{--}125 \text{ кг/м}^3$;

– маты минераловатные прошивные с обкладками или без них объемной массой $90\text{--}110 \text{ кг/м}^3$;

– маты в рулоне из штапельного волокна, скрепленного между собой синтетическим связующим, с пластифицирующими добавками со средней объемной массой 35 кг/м^3 в оболочке из стеклоткани;

– холсты из супертонкого стекловолокна с диаметром волокон не более 3 мк и объемной массой не выше 25 кг/м^3 ;

– холсты из супертонкого базальтового волокна с диаметром волокон 1–3 мк с содержанием неволокнистых включений до 5 % и объемной массой не более 35 кг/м³.

В качестве защитных оболочек в конструкциях звукопоглощающих облицовок могут применяться:

– стеклянная ткань, представляющая собой полотно различной плотности, вырабатываемая из крученых стеклянных нитей, негорючая толщиной 0,1–0,2 мм с массой 1 м² не более 200 г марок Э-0,1, СЭ (ССТЭ-6), Т-11 или их заменителей (марки А, АС, АП);

– стеклянная ткань декоративная гладкокрашенная негорючая, вырабатываемая из крученых нитей с массой 1 м² 150–250 г марок ТСД;

– павинол перфорированный марки «Авиапол», представляющий собой декоративно-отделочный негорючий материал, изготовленный из стеклоткани с односторонним покрытием антипирированной поливинилхлоридной массой в виде чередующихся полос с процентом перфорации не менее 24, с массой 1 м² 270–500 г;

– полиэтилентерефталатная пленка общего назначения толщиной не более 25 мк с массой 1 м² не более 20 г.

В качестве защитных перфорированных экранов в конструкциях звукопоглощающих облицовок с волокнистыми и сыпучими материалами могут применяться:

– алюминиевые перфорированные панели толщиной 0,8 мм, размером 500×500 мм с процентом перфорации 19 (типа ПА);

– алюминиевые перфорированные панели толщиной 1,0 мм, размерами 600×600 и 600×1200 мм с перфорацией по квадратной решетке и процентом перфорации 14 и 16 соответственно (типа ЛАП);

– алюминиевые перфорированные панели толщиной 0,7 мм, размерами 100×3000 и 300×6000 мм с перфорацией по треугольнику и процентом перфорации 32 (типа ЛАК);

– плиты гипсовые штампованные перфорированные, подклеенные с тыльной стороны бязью, трудногораемые, размерами 500×500 и 500×1000 мм, толщиной 10 мм с процентом перфорации 12;

– асбоцементные перфорированные листы негорючие, окрашенные любой краской размером 600×1200 мм, толщиной 5,5 мм, с процентом перфорации от 10 до 20;

– негорючие стеклопластиковые оболочки жесткие перфорированные, изготовленные на основе стеклотрикотажа и полимерного связующего размерами 1000×2000×50 мм, 500×1000×50 мм, 500×500×50 мм с процентом перфорации не менее 33;

– просечно-вытяжные листы из алюминия или стали толщиной не более 2 мм с размерами ячеек 32×11 мм и процентом перфорации не менее 60;

– мелкоячеистые проволочные сетки с квадратными ячейками из проволоки диаметром 0,2–0,65 мм и живым сечением не менее 40 %.

Физико-механические свойства ряда звукопоглощающих материалов и область их применения приведены в табл. 2.48. Акустические характеристики ряда звукопоглощающих облицовок и штучных звукопоглотителей приведены в табл. 2.49–2.51.

Таблица 2.48

Физико-механические свойства некоторых звукопоглощающих материалов

Материалы и изделия	Толщина, м	Объемная масса, кг/м ³	Степень огнестойкости	Область применения
Маты из супертонкого	0,05	15	Трудногораемые	Звукопоглощающие облицовки

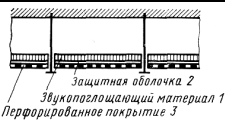
											
1 – прошивные минераловатные маты (ТУ 21-24-10-68) 2 – стеклоткань типа Э-0,1 (ГОСТ 19907–74) 3 – просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, процент перфорации 74 %	100	100	0	0,11	0,35	0,75	1	0,95	0,9	0,92	0,95
1 – минераловатная плита (ГОСТ 9573-72) 2 – стеклоткань типа Э-0,1 (ГОСТ 19907–74) 3 – просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, процент перфорации 74 %	125	50	0	0,09	0,18	0,55	1	0,86	0,79	0,85	0,85
То же	125	50	100	0,1	0,27	0,76	0,9	0,86	0,92	0,87	0,87
1 – супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69) 2 – стеклоткань типа Э-0,1 (ГОСТ 19907–74) 3 – просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, процент перфорации 74 %	15	100	0	0,15	0,47	1	1	1	1	1	0,95
То же	15	100	250	0,5	0,93	1	1	1	1	1	1

Таблица 2.51

Акустическая характеристика штучных звукопоглотителей

Конструкция	Звукопоглощающий слой	Расстояние, мм	Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{шт}$, м ² , при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц
-------------	-----------------------	----------------	--

	Плотность, кг/м ³	Толщина, мм	Толщина, мм между центрами,	от потолка до поглотителя, мм	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 – размер 400×400, просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, перфорация 74 %												
2 – стеклоткань типа Э-0,1 (ГОСТ 19907–74)												
3 – супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69)	15	60	2500	1250	0,14	0,4	0,75	1,23	1,14	1,05	0,82	0,67
То же	15	60	1500	1250	0,08	0,23	0,55	1,03	0,97	0,86	0,75	0,6
То же, но размером 320×320 мм	15	60	2000	1000	0,1	0,16	0,37	0,68	0,84	0,66	0,52	0,37
То же	15	60	1000	1000	0,05	0,11	0,34	0,51	0,6	0,46	0,4	0,35
То же, но размером 240×240 мм	15	60	1500	750	0,03	0,09	0,15	0,29	0,35	0,37	0,3	0,2
1 – размер 600×300×300 мм, листы перфорированного павинола-авиапола (ТУ 3-65)												
3 – супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69)	15	150	2000	500	–	0,18	0,45	0,65	0,56	0,52	0,48	0,6

Окончание табл. 2.51

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 – размер 400×400×400 мм, просечно-вытяжной лист	20	400	1350	1200	0,15	0,27	1,08	1,06	1,17	1,14	1	1,01

2 – стеклоткань типа Э-0,1 (ГОСТ 19907–74) 3 – супертонкое базальтовое волокно (ТУ 550.2.44-72) 4 – проволочный каркас													
1 – размер 2600×600×300 мм, просечно-вытяжной лист 2 – стеклоткань типа Э-0,1 (ГОСТ 19907-74) 3 – супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224–69) 4 – каркас треугольного профиля	15	Полно сть ю	0	0	0,59	0,66	1,87	2,1	2,1	1,7	1,87	2,5	
2 – оболочка из стеклоткани типа ТСД (ТУ 6-11-54-72) 3 – размер 1000×250×40 мм, минераловатная плита (ГОСТ 9573–72)	80	40	50	0	0,95	1,1	2,94	3,8	3,6	3,45	2,39	2	
То же	80	40	150	0	0,6	0,84	1,48	1,62	1,38	1,65	1,84	1,7	
	80	40	250	0	0,17	0,38	0,83	1,01	0,99	1,2	1,57	1,4	
	80	40	500	0	0,1	0,13	0,43	0,53	0,66	0,65	0,61	0,58	
2 – оболочка из стеклоткани типа ТСД (ТУ 6-11-54-72) 3 – размер 500×500×40 мм, минераловатная плита (ГОСТ 9573–72)	125	40	500	0	0,28	0,34	0,6	0,98	1,45	1,57	1,56	1,5	
2 – оболочка из стеклоткани типа ТСД (ТУ 6-11-54–72) 3 – размер 1000×500×80 мм, минераловатная плита (ГОСТ 9573–72)	80	80	500	0	0,31	0,38	0,81	1,14	1,22	1,18	1,07	1	

Звукопоглощающие конструкции целесообразно применять, когда требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$ (дБ) в расчетных точках в отраженном звуковом поле превышает не менее чем на 3 дБ в трех октавных полосах или на 5 дБ хотя бы в одной из октавных

полос. В расчетных точках, выбранных на рабочих местах, требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$ в этих же случаях должно превышать соответственно не менее 1 или 3 дБ. При этом необходимое снижение уровня звукового давления может быть обеспечено только применением звукопоглощающих конструкций, если $\Delta L_{\text{тр}}$ в расчетных точках в отраженном звуковом поле не превышает 10–12 дБ, а в расчетных точках на рабочих местах 4–5 дБ.

Если полученные в результате расчета значения $\Delta L_{\text{тр}}$ окажутся выше, то для снижения уровня звукового давления помимо звукопоглощающих конструкций необходимо предусматривать применение дополнительных средств защиты от шума, например акустических экранов.

Величина максимального снижения уровня звукового давления ΔL (дБ) в каждой октавной полосе при применении звукопоглощающих конструкций в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука, определяется по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \psi_1}{B \psi},$$

где B – постоянная помещения, м^2 ; B_1 – постоянная помещения после установки в нем звукопоглощающих конструкций, м^2 ; ψ и ψ_1 – коэффициенты, определяемые по графику на рис. 2.61, соответственно до и после устройства звукопоглощающих конструкций.

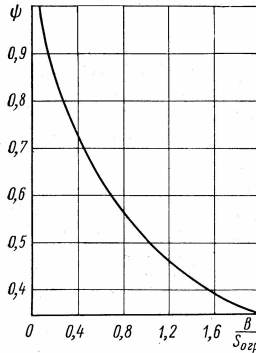


Рис. 2.61. График определения коэффициента ψ в зависимости от отношения постоянной помещения B к площади поверхностей $S_{огр}$. Постоянную помещения B_1 (m^2) определяют по формуле

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_1},$$

где A_1 – величина звукопоглощения ограждающих конструкций помещения (m^2), на которых нет звукопоглощающей облицовки

$$A_1 = \alpha (S_{огр} - S_{обл});$$

α – средний коэффициент звукопоглощения помещения до устройства звукопоглощающей облицовки

$$\alpha = \frac{B/S_{огр}}{B/S_{огр} + 1};$$

$S_{огр}$ – общая площадь ограждающих конструкций помещения, m^2 ; $S_{обл}$ – площадь звукопоглощающей облицовки, m^2 ; ΔA – величина звукопоглощения звукопоглощающими конструкциями

$$\Delta A = \alpha S_{огр} + A_{шт} n_{шт};$$

$\alpha_{обл}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции облицовки в октавной полосе частот; $A_{шт}$ – величина звукопоглощения штучного звукопоглотителя, m^2 ; $n_{шт}$ – число штучных звукопоглотителей; α_1 – средний коэффициент

звукопоглощения помещения со звукопоглощающими конструкциями

$$\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S_{\text{отр}}}.$$

Площадь звукопоглощающей облицовки $S_{\text{обл}}$ (м^2) рассчитывается по формуле

$$S_{\text{обл}} = \frac{\Delta A_{\text{тр}}}{\alpha_{\text{обл}}},$$

где $\Delta A_{\text{тр}}$ – величина требуемого звукопоглощения, обеспечивающего заданное снижение уровня звукового давления, определяемая по номограмме на рис. 2.62.

Если в результате расчета площадь звукопоглощающей облицовки $S_{\text{обл}}$ окажется больше площади, возможной для облицовки в данном помещении, то $S_{\text{обл}}$ следует принять максимально возможной, а дополнительное звукопоглощение обеспечить применением штучных звукопоглотителей, число $n_{\text{шт}}$ которых для каждой октавной полосы определяется по формуле

$$n_{\text{шт}} = \frac{\Delta A_{\text{тр}} - \alpha_{\text{обл}} S_{\text{обл}}}{A_{\text{шт}}}.$$

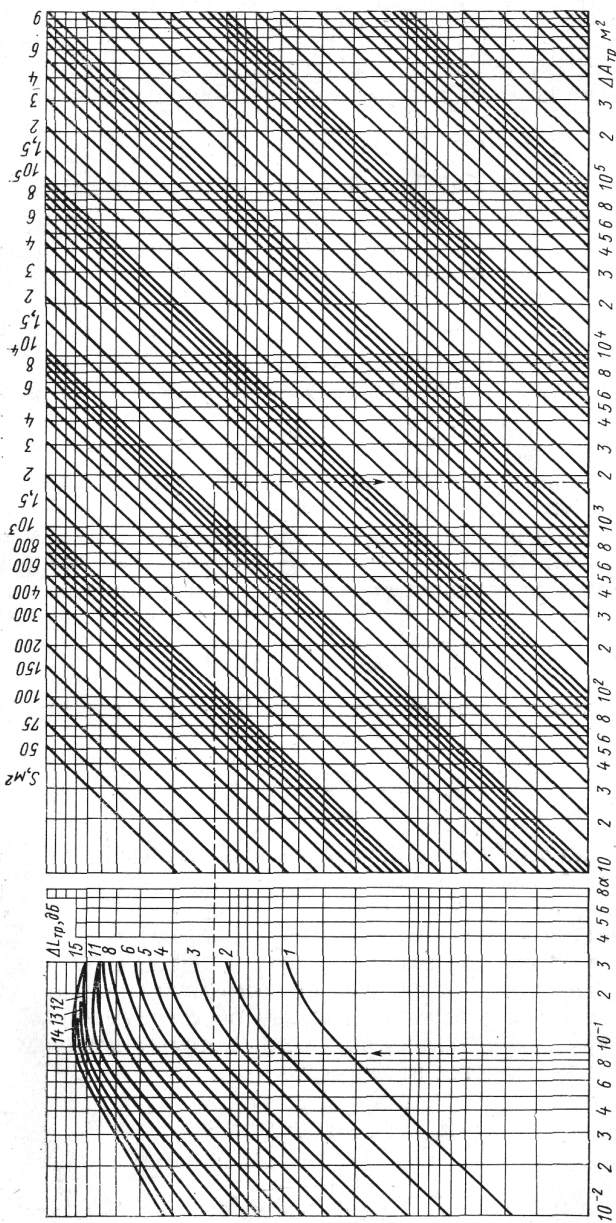


Рис. 2.62. Номограммы для расчета ΔA_{tr} по известным величинам: среднему коэффициенту звукопоглощения α , величине требуемого снижения уровня звукового давления ΔL_{tr} и общей площади $S_{огр}$ ограждающих конструкций помещения. Дано: $\alpha = 0,09$; $\Delta L_{tr} = 4$ дБ; $S_{огр} = 15000(1,5 \cdot 10^4)$ м². Находим $\Delta A_{tr} = 1800$ м². Движение по стрелке от α к ΔA_{tr} . Пример расчета.

Число штучных звукопоглотителей $n_{шт}$ в проекте следует принимать наибольшим из значений, полученных расчетом для всех октавных полос.

Число штучных звукопоглотителей $n_{шт}$ в случае их применения вместо звукопоглощающей облицовки потолка и стен рассчитывается по формуле

$$n_{шт} = \frac{\Delta A_{тр}}{A_{шт}} .$$

2.12. Акустические экраны

Акустические экраны в промышленных цехах целесообразно применять для уменьшения интенсивности прямого звука или отгораживания наиболее шумного оборудования или участков от соседних рабочих мест или рабочих мест от остальной части помещения. Акустический экран представляет собой преграду ограниченных размеров, снижающую уровень прямого звука от источника шума за счет образования акустической тени. Собственная акустическая эффективность экрана – снижение уровня звукового давления прямого звука источника в точке, расположенной за экраном. Экраны наиболее эффективны для снижения шума высоких и средних частот и плохо снижают низкочастотный шум, который за счет эффекта дифракции легко огибает экраны.

Акустические экраны следует применять для защиты рабочих мест от шума обслуживаемого агрегата, а также от шума соседних агрегатов в тех случаях, когда звукопоглощающая облицовка не обеспечивает требуемого снижения шума. Линейные размеры экрана не менее чем в 2–3 раза должны превосходить линейные размеры источников шума.

Акустические экраны изготавливают из сплошных твердых листов или щитов (например, металлических), облицованных звукопоглощающим материалом,

обращенным к источнику шума. Толщина звукопоглощающего слоя должна составлять не менее 50–60 мм. Стенка экрана должна иметь звукоизолирующую способность не ниже собственной акустической эффективности экрана.

Акустические экраны, как правило, применяются в сочетании со звукопоглощающей облицовкой помещения, так как экран снижает только прямой звук, а не отраженный.

Экраны целесообразно применять для снижения уровня звукового давления на рабочих местах и местах постоянного пребывания людей от источников шума, создающих уровни звукового давления L в расчетных точках, превышающие допустимые уровни $L_{\text{доп}}$ не менее чем на 10 дБ и не более чем на 20 дБ.

Величина снижения уровня звукового давления ΔL (дБ) в расчетной точке при установке экранов определяется в каждой октавной полосе по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{10^{0,1L_0} + \frac{4\psi}{B} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{Pi}}}{10^{0,1(L_0 - \Delta L_{\text{экp}})} + \frac{4\psi_2}{B_1} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Pi}}},$$

где L_0 – октавный уровень звукового давления в расчетной точке от источника шума, для которого предусматривается установка экрана дБ; L_{Pi} – октавный уровень звуковой мощности, дБ, каждого из источников шума в помещении; B – постоянная помещения, м^2 ; B_1 – постоянная помещения после устройства в нем звукопоглощающих конструкций и экранов, м^2 ; $\Delta L_{\text{экp}}$ – снижение экраном октавного уровня звукового давления в расчетной точке за экраном, дБ; ψ и ψ_2 – коэффициенты соответственно до и после устройства звукопоглощающих конструкций и экранов, определяемые по графику на рис. 2.61; n – общее число источников шума в помещении.

Постоянная помещения B_1 (м^2) определяется по формуле

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A + \Delta A_{\text{экp}}}{1 - \alpha_2},$$

где $\Delta A_{\text{экp}}$ – величина дополнительного звукопоглощения экраном (м^2):

$$\Delta A_{\text{экp}} = \alpha_{\text{обл}} \sum_{k=1}^m S_{k\text{экp}},$$

S_k – площадь k -го экрана, м^2 (при двусторонней облицовке экрана ее следует увеличивать в 1,5 раза); m – общее число экранов, установленных в помещении; α_2 – средний коэффициент звукопоглощения помещения:

$$\alpha_2 = \frac{A_1 + \Delta A + \Delta A_{\text{экp}}}{S_{\text{огp}}}.$$

Размеры экрана – высоту H и ширину l , расстояние от источника шума до экрана r_1 и от экрана до расчетной точки r_2 (м) – принимают в соответствии с рис. 2.63 и табл. 2.52 и 2.53.

Величина снижения экраном октавного уровня звукового давления $\Delta L_{\text{экp}}$ (дБ) определяется при $r_1 = 0,5$ м для экрана типа *a* по табл. 2.52, а для экрана типа *б* по табл. 2.53 в зависимости от типоразмеров экрана и взаимного размещения источника шума, экрана и расчетной точки (см. рис. 2.63).

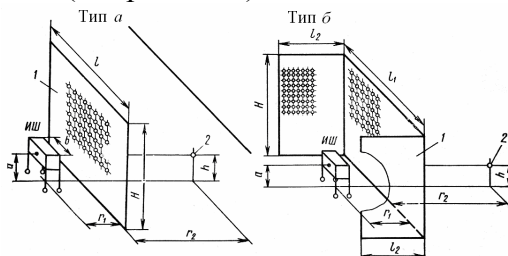


Рис. 2.63. Формы акустических экранов:
ИШ – источник шума; 1 – экран; 2 – расчетная точка

Таблица 2.52

Снижение уровня звукового давления экраном

Размеры экрана и координаты расчетной точки, м				Снижение уровня звукового давления экраном $\Delta L_{\text{экр}}$, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
H	h	l	r_2	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2,4	1,2	1	1	0	0	5	7	8,5	9	11,5	15
			2	0	0	4	6	8	8,5	12	13,5
			3	0	0	3,5	5,5	6,5	8	11	13
2,4	1,2	1,5	1	0	0	9	10	10	14	17	19
			2	0,5	0,5	9,5	8,5	10	12	15,5	18,5
			3	1,5	1	7	8	9,5	11,5	15	17
2,4	1,2	3,5	1	5	5	9	14,5	17,5	16,5	22	23
			2	4,5	5,5	10	12	16,5	17,5	22	23,5
			3	4	6	9	9,5	14	15	19,5	22
2,4	1,2	5	1	8	11	13	16	21,5	24	25	27
			2	8	10	9,5	13	20	23	24	27
			3	6	10	7	12	15,5	22	23,5	25
1,5	0,75	1,75	1	2	1	6	10	10,5	12	14	16
			2	1	0	5,5	7,5	10,5	12	14	15,5
			3	1,5	0	7	5,5	8,5	12	13,5	15
1,5	0,75	3,25	1	6	6	9	14	17	16	19	21
			2	5,5	3	7,5	9	14	15,5	19	20
			3	5,5	1,5	8,5	9	11,5	15	18	20
1,5	0,75	4,75	1	6,5	6,5	10,5	12	18	20	22	24
			2	6,5	3	11	12	16,5	17	20,5	23,5
			3	6,5	0,5	12	12,5	14,5	16,5	20,5	22,5
1	0,5	2,5	1	3	0	3,5	9	9,5	11,5	14	17
			2	2	0	3	10	9	10	13	15,5
			3	1,5	0	10	8,5	8,5	10	13,5	14
2	1	2,4	1	4	5	10	12,5	14,5	15,5	19,5	23
			2	4	4	8	10,5	14,5	15,5	18,5	22
			3	4	3,5	7,5	9,5	12,5	15,5	18,5	20

Таблица 2.53

Снижение уровня звукового давления экраном

Размеры экрана и координаты расчетной точки, м					Снижение уровня звукового давления экраном $\Delta L_{\text{экр}}$, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
H	l	l_1	h	r_2	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1,5	0,75	1,5	0,75	1	8,5	6,5	13	14,5	19	19,5	24	25
				2	9	4	11	11,5	18,5	17	21,5	22,5
				3	7	2,5	13,5	11,5	18,5	17	19	21,5
1,5	0,75	1,5	1	1	6,5	7	12	15	18	18	22,5	22,5
				2	7	5	9	13,5	17	17	21	21
				3	7	3,5	9,5	10	16,5	16	20	20
2,4	2	1,5	1,2	1	6	7,5	10,5	17,5	21,5	22,5	27	26,5
				2	8	7	9,5	17	21	19,5	25,5	25
				3	4	7	9	15	20	20,5	24,5	24

Величины $\Delta L_{\text{экр}}$ (дБ) для каждой октавной полосы можно определять также и по графику рис. 2.64. При этом для экрана П-образной формы (тип б) принимают приведенную ширину экрана $l_{\text{прив}} = l_1 + 2l_2$ вместо l экрана типа а, полагая $l = l_{\text{прив}}$.

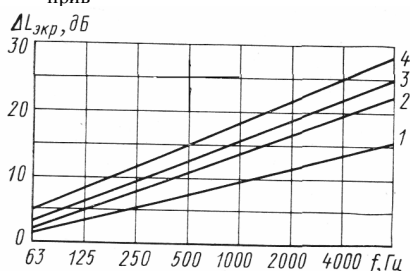


Рис. 2.64. Усредненные характеристики эффективности акустических экранов: 1 – $l/b = 1,75$; 2 – $l/b = 4,5$ при $H/a = 2,5$; 3 – $l/b = 2$; 4 – $l/b = 5$; при $H/a = 5$

2.13. Снижение шума при транспортировании материала

Для обеспечения механизации транспортных и погрузочных операций исходного сырья и продуктов обогащения применяются разнообразные транспортные средства различного назначения. К ним относятся ковшовые элеваторы, ленточные и скребковые конвейеры и самотечный транспорт.

Основным источником шума транспортного оборудования является ударный шум.

В элеваторах повышенный шум возникает от приводов и соударения звеньев тяговых цепей с приводными звездочками. В зоне головок элеваторов в отдельных случаях при неудовлетворительном обслуживании уровень шума достигает 88–90 дБА.

На основании исследований Гипромашуглеобогащения для снижения уровня шума разработан обеззвуживающий элеватор ЭО-6СМ с шестигранными тяговыми

звездочками вместо четырехгранных. Кроме того, у данного элеватора снижена скорость привода и увеличена плавкость обвода звеньями тяговых звездочек. Благодаря применению этих мероприятий уровень шума, излучаемый головкой элеватора, снижен до 83 дБА. Дальнейшее снижение шума головок элеваторов может быть достигнуто установкой шумозащитного кожуха на приводе.

Приводные механизмы ленточных и скребковых конвейеров создают шум на уровне 90–93 дБА. Особенно высок уровень шума при жестком монтаже рамы привода и неудовлетворительном обслуживании. Источники повышенного шума конвейеров – участки перегрузки материала и падение кусков на ленты.

Для снижения уровня шума на конвейерах необходимы мероприятия по совершенствованию работы приводов, а также звуко- и виброизоляция привода. Указанные мероприятия позволяют снизить уровни шума привода конвейеров до 84 дБА.

Для снижения шума головок ленточных конвейеров в зарубежной практике применяют укрытия из полимерных звукопоглощающих материалов в виде пластин толщиной 6 мм. На обогатительной фабрике «Джорджтаун» (США) головки ленточных конвейеров, транспортирующих уголь, укрыты полимерным звукопоглощающим материалом. При этом уровень шума в зоне установки головок конвейеров снизился на 10 дБА.

Для снижения шума и износа лент в местах подачи материала на конвейер рекомендуется устанавливать амортизирующие устройства в виде звеньев конвейеров на пружинах или резиновых амортизаторах, а также роликоопор на пружинах и резиновой футеровки роликов.

Весьма распространенным источником ударного шума на обогатительных фабриках являются узлы самотечного транспорта (перепады, перегрузки, желоба и др.),

которыми связано все технологическое оборудование фабрик, а также сборники (воронки) продуктов и бункера. Во всех случаях перегружаемый материал сначала поступает в сборники (воронки), примыкающие к технологическому оборудованию, а затем под действием силы тяжести перемещается по вертикальным или наклонным желобам.

В процессе движения материала происходят удары кусков друг о друга и о стенки узлов самотечного транспорта. В результате создаются вибрации объемных тонкостенных металлоконструкций с большой площадью, что приводит к образованию ударного шума высокой интенсивности. Установлено, что удары кусков материала друг о друга создают шум с уровнем 75 дБА, а кусков породы – до 88 дБА. При ударах кусков транспортируемого материала крупностью до 100 мм о металлические поверхности уровень шума достигает 100 дБА. Как правило, металлоконструкции узлов самотечного транспорта жестко связаны с технологическим оборудованием и перекрытиями, что обеспечивает благоприятные условия для распространения ударного шума и вибраций по строительным конструкциям с образованием структурного шума.

Интенсивность шума зависит от крупности, влажности, твердости, а также скорости движения кусков транспортируемого материала, угла наклона течек, высоты падения материала и формы поверхности желобов (течек).

Транспортирование абразивного материала по течкам, желобам приводит к их быстрому износу. Особенно быстро изнашиваются лобовые части разгрузочных воронок, на которые падает движущийся с большой скоростью материал. При разгрузке абразивного материала (например, железной руды) с ленточного конвейера, движущегося со скоростью 2–5 м/с, в разгрузочную

воронку ее передний стальной лист толщиной 12 мм изнашивается через месяц при разгрузке 1500 т руды. При транспортировании угля наряду с образованием шума и износом металлических поверхностей течек, желобов происходит нежелательное переизмельчение транспортируемого материала, что усложняет его дальнейшую технологическую переработку.

В Российской Федерации и за рубежом для снижения уровня шума и износа транспортных узлов применяются различные устройства. Шумогасящие и износостойкие устройства транспорта должны обеспечивать условия уменьшения энергии удара и увеличение упругости отражательных поверхностей. Данные условия осуществляются сокращением высоты перегрузок и перепадов; установкой гасителей скорости; применением на перепадах специальных демпфирующих «карманов», уступов и ступеней, заполняемых транспортируемым материалом; футеровкой внутренних поверхностей материалами с высокими упругими свойствами (например, резиной); покрытием внешних поверхностей конструкций звукоизолирующими и вибродемпфирующими материалами; установкой бункеров и больших перепадов на специальные амортизаторы. Повышение долговечности быстроизнашивающихся частей желобов, перепадов, воронок осуществляется в результате установки броневых листов, покрытия внутренних поверхностей бетоном, стеклоплиткой и другими материалами. Для уменьшения шума и износа узлов самотечного транспорта применяются следующие конструкции (рис. 2.65).

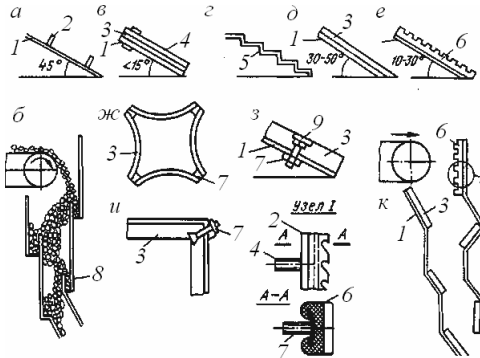


Рис. 2.65. Конструкции, применяемые для снижения шума и износа узлов самотечного транспорта:

a – пороги; *б* – перепад с «карманами»; *в* – звукогасящие щиты; *г* – ступенчатое дно желоба; *д* – гладкое резиновое покрытие поверхности желоба; *е* – покрытие поверхности дна желоба профильным листом резины; *ж* – сечение резинового перепада; *з* – метод крепления гладкого листа резины к поверхности желоба; *и* – метод крепления резины на внутренней поверхности перепада; *к* – перепад системой футеровок; *л* – дно желоба; *м* – пороги; *н* – резиновая пластина; *о* – бронеплита; *п* – стальные ступени; *р* – профильная резина; *с*, *т* – крепление резиновых пластин; *у* – «карманы»

Снижение шума на 5–10 дБА достигается установкой порогов или ступеней на днище желобов (см. рис. 2.65, *a*). Пороги представляют собой стальные пластины, приваренные перпендикулярно дну желоба, которые обеспечивают задержание транспортируемого материала с образованием «постели», снижающей ударный шум. Для желоба, имеющего угол наклона к горизонтали менее 45° , необходим только один порог, так как при большем их числе может произойти нарушение транспортного потока. Для крутых желобов (угол наклона более 45°) возможна установка двух или более порогов. Подобный эффект обеспечивается также ступенчатой формой днища желобов.

В перепадах для уменьшения шума и износа устанавливаются отсеки («карманы»), которые заполняются транспортируемым материалом, в результате чего падающие куски материала попадают в «карманы» и

скользят по поверхности, образующейся в них «постели», что снижает шум перепадов (см. рис. 2.65, б).

В отдельных случаях находят применение звукогасящие щиты, представляющие собой наборные конструкции чередующихся полос из металла и резины, стянутых болтами (см. рис. 2.65, в). Резиновые полосы на 5–10 мм толще металлических. Закрепляются щиты на панели течек, подвергающихся ударам кусков движущегося материала.

Звукогасящие щиты, изготовленные из стальных полос толщиной 10 мм, резины толщиной 30 мм и высотой 110 мм, скрепленные болтами № 20, испытывались в дробильно-сортировочных отделениях шахт им. Артема и «Комсомольская». Применение звукогасящих щитов снижает уровень звукового давления на 20–40 дБА на частотах 700–5000 Гц. При использовании марганцовистых сталей значительно увеличивается срок службы щитов.

Установлено, что ступенчатая форма днища металлической течки, по сравнению с гладкой, снижает уровень шума на 9 дБА и уровень звукового давления во всем нормируемом диапазоне частот. Сравнительный анализ результатов уровня шума резиновых и резинометаллических течек при транспортировании крупной породы показал, что на низких частотах снижение шума у них практически одинаково, а на средних и высоких частотах резинометаллические течки снижают уровень звукового давления на 5–25 дБ больше, чем резиновые. При транспортировании влажного материала «карманы» препятствуют скольжению материала и способствуют завалу разгрузочной воронки. Наиболее полно отвечает требованиям эффективного снижения шума и износа применение резиновой футеровки. Это выгодно с точки зрения долговечности, несмотря на то, что

первоначальные затраты на изготовление резиновых конструкций составляют ориентировочно около 300 % затрат на стальные конструкции. Резиновая футеровка загрузочных воронок и желобов, узлов пересыпок имеет срок службы примерно в 10 раз больший, чем стальная. Значительный срок службы достигается из-за отсутствия коррозии и высокой прочности поверхностей.

Защита узлов перегрузки от шума и износа имеет ряд особенностей и требований, предъявляемых к футеровке и ее укреплению к металлическим каркасам в зависимости от крупности, высоты падения материала и угла наклона течи. Варианты установки гладкой и ребристой футеровки для загрузочных устройств в зависимости от угла наклона могут быть различны (см. рис. 2.65, *д, е*). При угле до 50° гладкие футеровки могут быть рекомендованы для руд крупностью 0–30 мм. Для таких же условий рекомендуется установка свободных резиновых течек (см. рис. 2.65, *ж*). Для перемещения руды крупностью кусков 30–100 мм рекомендуются ребристые футеровки.

Крепление резиновых футеровок должно быть защищено от абразивного износа. Резиновые течи будут иметь больший срок службы, если крепление резины вынесено из зоны ударов кусков руды (см. рис. 2.65, *з, и*).

Срок службы резиновых футеровок в значительной степени зависит от угла падения материала. Установлено, что износ футеровки в 40 раз больше при угле наклона течи 30° , чем при угле наклона 90° . Наибольший износ футеровки происходит при скорости падения материала 4–5 м/с и углах падения от 5° до 50° . Минимальный износ соответствует вертикальному падению. При углах падения 40° – 90° наименьшему износу подвергается футеровка в виде гладких пластин, а при углах 20° – 40° – профилированная в виде ступенек (см. рис. 2.65, *е*), снижающая скорость падения кусков материала.

При углах падения, близких к 20° , оптимальна футеровка профилированными пластинами с выступами, направленными против движения материала. Длина рабочей поверхности выступа составляет 0,5 величины максимального куска материала.

Интенсивность износа лобового листа воронок зависит от скорости ударов кусков транспортируемого материала и величины угла между направлением движения материала поверхностного листа. При прочих разных условиях при угле падения материала 90° износ в 20 раз меньше, чем при угле 45° .

На основании этих исследований фирма «Скега» (Швеция) рекомендует футеровать лобовую часть стенки гребенчатыми пластинами из износостойкой резины (см. рис. 2.65, к). Пластина надевается на стальной фасонный профиль и прикрепляется болтами к каркасу воронки. К лобовой стенке воронки под углом друг к другу крепится набор пластин, наклоны гребенок которых обеспечивают встречу падающих кусков материала под углом 90° , что повышает износостойкость футеровки. Срок службы футеровки из профильных резиновых пластин составляет около 6 тыс. ч при перегрузке около 200 тыс. т материала, т.е. почти в 12 раз больше, чем у стальных листов. Гребенчатые пластины выпускаются нескольких типоразмеров при толщинах 40, 60, 100, 120 мм и выбираются в зависимости от размеров кусков транспортируемого груза.

В некоторых случаях рекомендуется применение двойного слоя резины. Можно также использовать готовые многослойные плиты. Они удобны, но дороги.

При тяжелых условиях эксплуатации резиновых футеровок (высокая плотность кусков породы, большая высота падения) решающее значение имеет толщина футеровки. В табл. 2.54 приведены данные исследований

(Чехия) по выбору оптимальной толщины резиновых футеровок.

Таблица 2.54

Оптимальная толщина резиновых футеровок (мм) в зависимости от крупности и высоты падения кусков материала

Крупность транспортируемого материала, мм	Высота падения, м			
	0,5	1,0	1,5	2,0
50	25	30	35	45
100	30	40	50	60
150	35	50	55	70
200	40	55	60	80

Конструкции резиновых футеровок, выпускаемых зарубежными фирмами, различны (рис. 2.66). В настоящее время проходят испытания резиновые покрытия в виде клиньев и сегментов (Чехия). При футеровке резиновыми клиньями отвесная подача материала на рабочую поверхность клина является обязательным условием. Износ резины зависит от места ее контакта с кусками угля и составляет 1,2–1,9 г на 1 т транспортируемого угля крупностью до 45 мм.

Порода крупностью до 200 мм при падении в бункер с высоты 4 м создает шум 120 дБА. После гуммирования бункера несколькими рядами сегментов уровень шума снизился на 8 дБА.

Футеровочные сегменты также были использованы в классификационном отделении шахты «Дубрава» (Чехия) на перегрузочном пункте со свободной подвеской. Резиновая футеровка в узлах перегрузки наряду со снижением шума приводит к значительному снижению степени переизмельчения материала. Переработка более 75 тыс. т угля привела к незначительному износу выступающих участков сегментов. При этом срок службы узла перегрузки увеличился до двух лет, а нежелательное

дробление снизилось с 0,6 до 0,2 %. К применению таких клиньев и сегментов переходят и другие предприятия Чехии. К достоинствам данных футеровок относятся несложность монтажа, большой срок службы, значительное снижение шума и отсутствие налипания продуктов транспортирования. В зонах абразивного износа, где стальной лист толщиной 5 мм простоял около двух месяцев, резиновая футеровка фирмы «Арморлайн» (США) успешно эксплуатируется в течение года без значительного износа. Снижение звукового давления при этом достигает 5–7 дБ в диапазоне средних и низких частот.

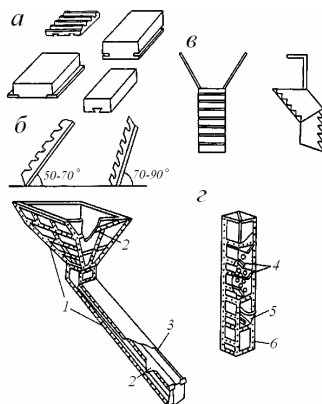


Рис. 2.66. Конструкции резиновых футеровок, выпускаемых зарубежными фирмами «Скега» и «Треллеборг» (Швеция), «Гудрич» (США, Чехия, Германия): *а* – общий вид гладких и рифленых футеровок с устройствами тетя их крепления; *б* – рифленые футеровки для различных углов наклона желоба; *в* – узел перепада, футерованный гладкими резиновыми пластинами и резиновыми клиньями; *г* – бункер с герметично закрытой течкой и желоб, изготовленный из резины в опорных рамах; *1* – рама из стальных уголков; *2* – резина толщиной 25 мм; *3* – резиновое покрытие; *4* – ступени, покрытые резиной; *5* – листовая резина; *б* – рама из стальных уголков

В настоящее время для обогатительных фабрик значительный интерес представляют износостойкие резины типа фирмы «Арморлайн», предназначенные для

футеровки лотков, подверженных действию абразивных материалов. Основу этих резин, поставляемых в виде полос, составляет натуральный каучук. С одной стороны полоса резины покрыта специальным клеящим составом, закрытым сверху защитной пленкой, снимаемой перед наложением полос на обезжиренный чистый металл. Такой вид футеровки упрощает монтаж гуммирующего слоя на предприятии.

Для снижения структурного шума, обусловленного передачей ударов на строительные конструкции, рекомендуется применение опорных рам и элементов, изготовленных из резины. При этом оборудование монтируется на металлическую раму, установленную на резиновых амортизаторах. При высоких динамических усилиях рекомендуется применять комбинированные из стальных пружин и резины амортизаторы.

По сравнению с рамами из стальных конструкций использование резины имеет ряд преимуществ. Результаты специальных исследований показали, что опорные рамы и элементы, изготовленные из резины, предотвращают возможность забивки углем течек, уменьшают переизмельчение угля и снижают уровень шума.

При перегрузке угля с конвейера на конвейер для уменьшения измельчения и снижения шума устанавливаются на перепадах резиновые элементы. Толщина резиновых элементов выбирается с учетом крупности транспортируемого угля. Элементы должны быть установлены таким образом, чтобы угол падения приближался к 90° .

Для снижения шума самотечного транспорта компания «Консолидейшен Консоль» (США) проводит испытание звукопоглощающего полимера толщиной 5 мм. Его устанавливают с внешней стороны поверхностей течек, лотков и перепадов. На ОФ «Джорджтаун» (США)

пластинами размером 1,2 х 3 м также были покрыты поверхности течек, это позволило дополнительно снизить уровень шума на 3–5 дБА.

Построенная в 1975 г. углеобогатительная фабрика компании «Роберте Чайферс» (США) производительностью 400 т/ч оборудована большим числом течек и перепадов, гуммированных изнутри резиновыми пластинами фирмы «Гудрич». Снижение уровня шума в среднем составило 5–8 дБА, а на рабочих местах этих отметок до 89 дБА. Способ гуммирования с целью снижения шума и износа самотечного транспорта находит применение также на обогатительных фабриках Великобритании, Германии. Имеется опыт применения износостойкой резины в России.

2.14. Средства индивидуальной защиты от шума

На рабочих местах, где не удастся добиться снижения шума до допустимых уровней техническими средствами или где это нецелесообразно по технико-экономическим соображениям, следует применять средства индивидуальной защиты от шума (СИЗ).

Основное назначение СИЗ – перекрыть наиболее чувствительный канал проникновения звука в организм – ухо человека. При этом ослабляются звуки, воздействующие на слуховую мембрану наружного уха, а следовательно, и колебания чувствительных элементов внутреннего уха. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и всей нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Их эффективность (звуковое заглушение), как правило, максимальна в области высоких частот, наиболее вредных и неприятных для человека.

Необходимо отметить, что звуковые колебания воспринимаются человеком не только непосредственно

через орган слуха, но и через череп путем костной проводимости. Поэтому средства защиты только органа слуха не позволяют полностью устранить передачу звуковой энергии.

Эффект применения СИЗ особенно заметен у рабочих с малым стажем работы в шумных условиях, когда потеря слуха невелика. Однако, и для лиц с нарушенным слухом применение СИЗ не только предотвращает дальнейшее ухудшение слуха, но может привести и к некоторому его улучшению. СИЗ способствует не только профилактике заболеваний, прямо или косвенно связанных с воздействием интенсивного шума (тугоухость, шумовая болезнь, нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем и др.), но и улучшению работоспособности человека.

В соответствии с ГОСТ 12.1.029–80 (СТ СЭВ 1928–79) «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация» СИЗ в зависимости от конструктивного исполнения делятся на противошумные наушники, противошумные вкладыши, противошумные шлемы и каски, противошумные костюмы. Наушники закрывают ушную раковину снаружи. Вкладыши перекрывают наружный слуховой проход или прилегают к нему. Шлемы и каски закрывают часть головы и ушную раковину. Противошумные костюмы закрывают тело человека и голову (или ее часть). По способу крепления на голове их подразделяют на независимые, имеющие жесткое или мягкое оголовье, и встроенные в головной убор (каска, шлемы) или другое защитное устройство (респиратор, очки и т.д.). Характерные типы получивших наибольшее распространение СИЗ приведены на рис. 2.67.



Рис. 2.67. Характерные типы средств индивидуальной защиты от шума:
a – вкладыши: 1 – многократного пользования; 2 – однократного пользования
 (из волокнистого материала); *б* – наушники; *в* – шлем; *г* – каска с наушниками

2.14.1. Требования к средствам индивидуальной защиты

Основные требования к СИЗ установлены ГОСТ 12.4.051–78 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические условия». СИЗ должны обеспечивать:

- высокую степень звукозащиты;
- возможность звукового контроля за работой обслуживаемого оборудования;
- прочность и простоту в обращении;
- гигиеническую безвредность.

По эффективности защиты от шума, массе и силе прижатия к околоушной области наушники и вкладыши делятся на три группы: А, Б и В. Требуемые эффективность, масса и сила прижатия по типам и группам СИЗ приведены в табл. 2.55.

Таблица 2.55

Требуемые эффективность, масса и сила прижатия СИЗ

Тип СИЗ	Группа	Эффективность, дБ, не менее, на частоте, Гц							Масса, кг, не более	Сила прижатия, Н, не более
		150	250	500	1000	2000	4000	8000		
Наушники	А	12	15	20	25	30	35	35	0,35	8
	Б	5	7	15	20	25	30	30	0,28	5
	В	–	–	5	15	20	25	25	0,15	4
Вкладыши	А	10	12	15	17	25	30	30	–	–
	Б	5	7	10	12	20	25	25	–	–
	В	5	5	5	7	15	20	20	–	–
Шлемы	–	17	20	25	30	35	40	40	0,85	–

Кроме приведенных в таблице основных требований, СИЗ должны быть гигиеничными и удобными, отвечать современным требованиям промышленной эстетики, не должны выделять токсичных или раздражающих кожу веществ и загрязнять кожный покров, а также обладать адгезивным свойством. Конструкция крепления наушников должна обеспечивать возможность подгонки их по размеру головы. Конструкция наушников и вкладышей многократного пользования должна допускать их гигиеническую обработку.

Эффективность СИЗ в соответствии с ГОСТ 12.4.092–80 определяют методом бинауральной пороговой аудиометрии на чистых тонах с частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц при фронтальном падении звука в специальной камере по усредненной разности порогов слуха для защищенных и незащищенных ушей.

СИЗ следует выбирать исходя из частотного спектра шума на рабочем месте, учитывая удобство их ношения при данных рабочей операции и климатических условиях. Подбор СИЗ на рабочих местах, имеющих определенные шумовые характеристики, проводится из условия

$$L_i - (L_{эi} + \Delta L_i) \leq L_{\text{доп}}, \quad (2.29)$$

где L_i – уровень звукового давления в i -й октавной полосе частот на рабочем месте, дБ; $L_{эi}$ – эффективность СИЗ в i -й октавной полосе частот по нормативно-технической документации, дБ; ΔL_i – поправка на надежность защиты от шума, принимаемая по табл. 2.56; $L_{\text{доп}}$ – допустимый уровень звукового давления для данного рабочего места в i -й октавной полосе частот.

Таблица 2.56

Поправка на надежность защиты от шума СИЗ

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-------------	-----	-----	-----	------	------	------	------

Поправка на надежность защиты от шума ΔL_i , дБ	-5	-5	-5	-10	-10	-10	-10
---	----	----	----	-----	-----	-----	-----

В табл. 2.57 приведен пример выбора средства индивидуальной защиты на основании шумовых характеристик рабочего места и условий формулы (2.29).

Таблица 2.57

**Расчетная оценка эффективности применения
наушников
при плотном прилегании к голове**

Показатель, дБ	Среднегеометрическая частота, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звукопоглощение наушниками ВЦНИИОТ-2М	7	11	14	22	35	45	38
Поправка на надежность	-5	-5	-5	-10	-10	-10	-10
Уровни звукового давления:							
на рабочем месте	102	105	106	98	97	90	83
доходящие до рабочего	100	99	97	86	72	53	55
по ГОСТ 12.1.003-83	92	87	84	80	78	76	74

Выбранные для примера уровни звукового давления на рабочем месте на частотах 125, 250, 500, 1000 Гц превышают допустимые санитарными нормами значения соответственно на 8, 12, 13, 6 дБ. В этом случае следует применять дополнительные меры по снижению вредного влияния шума. Расчетные значения получены для плотного прилегания наушников.

2.14.2. Конструкция и характеристики средств индивидуальной защиты

Вкладыши являются простейшим типом СИЗ. Обычно они изготавливаются из мягких эластичных материалов – резины, пластмасс, различного волокна. Их вводят непосредственно в наружную (хрящевую) часть слухового прохода и оставляют там без дополнительных средств

поддержания. При правильном положении вкладыша воздушный объем между ним и барабанной перепонкой должен составлять примерно $0,5 \text{ см}^3$ при поперечном сечении слухового прохода в костной его части $0,5 \text{ см}^2$. В этом случае замкнутая полость наружного слухового прохода вместе с барабанной перепонкой представляет собой резонатор, частота собственных колебаний которого составляет примерно 1300 Гц.

Звуковая энергия, действующая на барабанную перепонку уха, складывается из трех основных составляющих: звука, прошедшего через щели между вкладышем и стенками наружного слухового прохода, колебаний самого вкладыша при его деформации, колебаний кожи и других тканей наружного слухового прохода. Из этих путей передача звука основным является первый, причем наибольшее снижение эффективности вкладышей из-за него имеет место на высоких частотах.

При наличии заболеваний кожи наружного слухового прохода пользоваться вкладышами любого типа противопоказано. В этом случае следует применять наушники.

Наушники обычно состоят из двух корпусов и оголовья. Корпуса изготавливают из пластмассы или металла, а внутри них для повышения эффективности помещают слой звукопоглощающего материала – ультратонкого стекловолокна, покрытого легкопродуваемым поролоном.

Для обеспечения плотного прилегания наушника к околоушной поверхности на стороне корпуса, обращенной к голове, устанавливают мягкие уплотнители (протекторы). Чаще всего их выполняют из тонкой пленки в виде полых камер, заполненных глицерином, вазелином, силиконовым маслом или эластичным пористым материалом.

Оголовье служит для удержания наушников и прижима их к околушной области. Обычно его делают металлическим или пластмассовым, пружинящим и регулируемым по размерам головы.

Наушники, как правило, обладают большей эффективностью, чем вкладыши, в области средних и высоких частот. Однако они в ряде случаев неудобны в эксплуатации (большая масса, наличие прижима к околушной области, запотевание кожи под наушниками при повышенной температуре и др.). Поэтому наушники чаще применяют в тех случаях, когда требуется их периодическое использование.

В настоящее время разрабатываются новые типы наушников, основанных на принципе активного гашения шума путём создания под наушником с помощью размещаемого в нем миниатюрного электронного устройства звуковых колебаний, которые по фазе сдвинуты на половину периода с проникающим через наушник шумом.

Шлемы закрывают большую часть головы и, как правило, защищают ее не только от шума, но и от ушибов, холода и др. Они должны плотно облегать околушную область и всю голову, поэтому их изготавливают различных размеров. Шлемы целесообразно применять для защиты человека от особо интенсивного шума (более 120 дБ), когда он воспринимается не только непосредственно органом слуха, но и проникает в организм вследствие костной проводимости через кости черепа.

Ориентировочные данные о эффективности СИЗ, полученные в лабораторных «идеальных» условиях, приведены в табл. 2.58. Максимальная эффективность СИЗ достигается при совместном использовании наушников (шлемов) и вкладышей. Она несколько меньше арифметической суммы эффективностей наушников и

вкладышей из-за увеличения влияния костной проводимости звука при шумах высокой интенсивности.

Таблица 2.58

Эффективность СИЗ различных типов

Типы СИЗ	Эффективность СИЗ, дБ, в частотном диапазоне, Гц			
	20–100	100–800	800–8000	свыше 8000
Вкладыши	5–20	20–35	30–40	30–40
Наушники	2–15	15–35	30–45	35–45
Наушники совместно с вкладышами	15–25	25–45	30–60	40–60
Шлемы	2–7	7–20	20–55	30–55
Космические шлемы	5–10	10–25	30–60	30–60

Некоторые типы выпускаемых за рубежом наушников и вкладышей являются «амплитудно-чувствительными» – их эффективность возрастает с увеличением уровней шума. Они особенно эффективны при защите от импульсных шумов.

Основные характеристики выпускаемых отечественной промышленностью иготавливаемых к выпуску СИЗ производственного назначения приведены в табл. 2.59, а их усредненная эффективность, измеренная по стандартной методике, – в табл. 2.60.

Таблица 2.59

Характеристики СИЗ

Наименование	Назначение	Уровень шума, дБ, до	Масса, кг	Завод-изготовитель
1	2	3	4	5
Противошумные наушники ВЦНИИОТ-2М	Для защиты от средне-высокочастотного шума	120	0,18	Завод нестандартного оборудования им. А. Матросова (Москва)
Противошумные наушники ВЦНИИОТ-4А	Для защиты от высокочастотного шума	105–110	0,07	
Противошумные наушники ВЦНИИОТ-А1		115	0,175	

Противошумные наушники ВЦНИИОТ-1		110	0,12	Завод «Респиратор» (г. Орехово-Зуево)
Противошумные наушники ВЦНИИОТ-7И	Для защиты от высокочастотного производственного шума. Имеют устройство для регулировки эффективности (уменьшения ее)	115	0,28	
Противошумные наушники ПШ-00	Для защиты от высокочастотного шума	–	0,18	Киевский опытно-экспериментальный завод
Шумозащитное оголовье ШЗО-1	Для защиты от средне- и высокочастотного шума	120	0,37	То же, готовится к производству
Каска ВЦНИИОТ-2	Для защиты головы от травм и поражения электрическим током, защиты от средне- и высокочастотного шума	120	0,60	Завод «Респиратор» (г. Орехово-Зуево)
Противошумные наушники с креплением на защитную каску «Салво»	Для защиты головы от травм и поражения электрическим током, защиты от средне- и высокочастотного шума	115	–	Фабрика пластмассовых изделий «Салво» (г. Таллин), готовится к производству

Окончание табл. 2.59

1	2	3	4	5
Противошумные заглушки (вкладыши) «Атифоны»	Для защиты от высокочастотного шума	105	0,002	Завод нестандартного оборудования им. А. Матросова (Москва)
Противошумные вкладыши «Беруши»	Для защиты от средне- и высокочастотного шума	105	0,0004	Несколько предприятий
Противошумные вкладыши «Грибок» и «Лепесток»		105	0,0015	Готовится к производству

Таблица 2.60

Эффективность СИЗ, дБ

СИЗ	Частота, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Наушники:							
ВЦНИИОТ-2М	7	11	14	22	35	45	38
ВЦНИИОТ-4А	2	4	5	16	25	36	28
ВЦНИИОТ-А1	10	14	16	17	36	36	34
ВЦНИИОТ-1	3	4	7	13	23	36	33
ВЦНИИОТ-7И	10	16	18	22	36	40	32
ПШ-00	4	8	10	15	20	20	27

Шумозащитное оголовье ШЗО-1	12	18	30	31	34	38	34
Противошумная каска ВЦНИИОТ-2	7	11	14	22	35	45	38
Противошумные наушники с креплением на защитную каску «Салво»	5	7	15	19	25	33	32
Заглушки (вкладыши) «Антифоны»	10	10	10	13	24	29	25
Вкладыши «Беруши»	15	18	18	24	26	26	31
Вкладыши «Грибок» и «Лепесток»	10	17	18	25	26	31	30

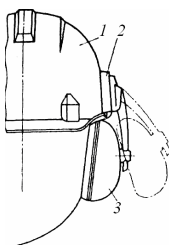


Рис. 2.68. Противошумные наушники с креплением на защитную каску «Салво»:
1 – каска; 2 – узел крепления наушника к каске; 3 – наушник

Наиболее распространенные в промышленности наушники типа ВЦНИИОТ-2М по эффективности защиты от шума относятся к группе Б, а ВЦНИИОТ-1 и ВЦНИИОТ-4А – к группе В. В области низких частот их эффективность сравнительно невелика, что позволяет контролировать работу механизмов на слух и слышать в наушниках разговорную речь и низкочастотные предупредительные сигналы. Среди вкладышей наиболее распространены «Беруши», изготавливаемые из ультратонких перхлорвиниловых волокон. Представляют собой квадраты размером 4×4 см, вырезанные из волокнистого шумопоглощающего материала. Вкладыши свертывают в виде конуса и вставляют в слуховой канал. Масса одного вкладыша 140 мг. Вкладыши из ультратонких перхлорвиниловых волокон обладают антисептическими и бактерицидными свойствами, не вызывают раздражение кожи, не изменяют своих свойств в широком диапазоне температур от – 50 до + 60 °С. Они снижают уровень внешнего шума на 17–30 дБ

для частот свыше 500 Гц и на 10–15 дБ для частот до 500 Гц.

К числу наиболее совершенных конструкций СИЗ относятся противошумные наушники с креплением на защитную каску «Салво» и противошумные вкладыши «Грибок» и «Лепесток». Наушники «Салво» имеют относительно «плоский» корпус, изготовленный из ударопрочной пластмассы (рис. 2.68). Внутри корпуса размещается звукопоглотитель – слой пенополиуретана толщиной 10 мм. Уплотняющий протектор выполнен из мелкопористого полиуретана, заключенного в тонкую высокоэластичную пленку. Такая конструкция значительно улучшает гигиенические характеристики наушников, делает их более удобными для человека и одновременно повышает технологичность изготовления по сравнению с протекторами с жидким наполнителем.

Узел крепления наушников разработан применительно к серийно выпускаемой защитной каске «Салво» и не ухудшает ее защитных и эксплуатационных свойств. Он позволяет вывести наушники на каску в любом положении («вперед», «вверх» или «назад»), а также, при необходимости, в фиксированное нерабочее положение, когда они отведены на 10–15 мм от ушной раковины.

Вкладыши типа «Грибок» и «Лепесток» отличаются удобством применения, эстетичностью. Они изготавливаются из силиконовой резины, которая наиболее подходит для изделий такого назначения (не токсична, эластична и в то же время достаточно прочна). Вкладыши «Грибок» представляют собой колпачок грибообразной формы с постепенно утончающимися к периферии стенками на стержне из того же материала (рис. 2.69, а). Тонкие, эластичные стенки колпачка при введении его в ушной канал легко деформируются и плотно перекрывают канал.

Регулировка степени перекрытия канала осуществляется изменением глубины введения вкладыша.

Вкладыш «Лепесток» (рис. 2.69, б) представляет собой тонкий стержень, на котором расположены пять утончающихся к периферии дисков с постепенно уменьшающимся к вершине диаметром (от 14 до 8 мм). Давление, оказываемое на стенки канала такими дисками, минимально. Достаточно высокая эффективность в диапазоне низких и средних частот позволит использовать эти вкладыши не только в производственных условиях, но и в быту.

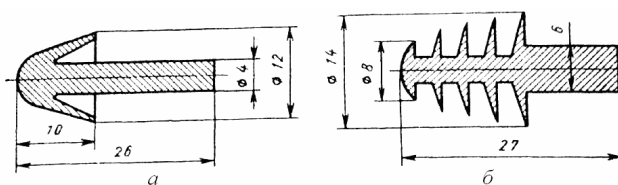


Рис. 2.69. Противошумные вкладыши:
а – типа «Грибок»; б – типа «Лепесток»

Лицам, длительное время работающим в условиях шума, необходимо привыкать к СИЗ постепенно – в течение одного-двух месяцев, что позволит организму перестроиться без возможных неприятных ощущений.

Если применение СИЗ в течение всей рабочей смены невозможно, то рекомендуется использовать их периодически. Это позволит частично восстановить чувствительность органа слуха и снизить его утомление.

Имеются успешные попытки снижать вредное действие производственного шума посредством «озвучивания» наушников при помощи встроенных небольших громкоговорителей, на которые подается музыка. Требуется индивидуальная регулировка громкости и возможность выбора программы.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Классификация канцерогеноопасных производственных факторов

Международное агентство по изучению рака (МАИР) разработало критерии по оценке канцерогенной активности химических соединений, основанные на степени доказанности канцерогенности того или иного соединения для человека или животных. Оно регулярно публикует экспериментальные и эпидемиологические данные о канцерогенности отдельных веществ, групп веществ или производственных процессов, а также результаты анализа этих данных, проведенного международной группой экспертов. Эти сведения используются при разработке профилактических мероприятий и законодательных актов на национальных и международном уровнях.

По критериям МАИР выделены 4 группы химических веществ, соединений, смесей, производственных воздействий и процессов по степени доказанности канцерогенности для человека.

Первая группа включает те из них, в отношении которых имеются убедительные доказательства канцерогенности их для человека. Основной показатель – наличие достаточного числа эпидемиологических исследований, в которых установлена связь между воздействием канцерогенного фактора и повышенным онкологическим риском.

Вторая группа – это факторы, для которых имеются почти убедительные доказательства канцерогенности для человека или в отсутствие таковых – убедительные доказательства канцерогенности для животных. По степени доказательности она разделена на 2 подгруппы: с более высоким (2А – вероятные канцерогены) и с более низким (2Б – возможные канцерогены) ее уровнем.

К **подгруппе 2А** отнесены те факторы, которые имеют ограниченные доказательства канцерогенности для человека и убедительные данные о канцерогенности для экспериментальных животных. В нее входят также факторы, для которых существует только одно из этих доказательств при наличии других данных, указывающих на возможную канцерогенность (мутагенность, отдельные клинические наблюдения и пр.).

В **подгруппу 2Б** входят факторы и производственные процессы, для которых есть ограниченные доказательства канцерогенности для

человека в отсутствие данных о канцерогенности для животных. Сюда

Продолжение прил. 1

же отнесены случаи, когда нет данных о канцерогенности для человека или они неубедительны, но есть достаточно доказательств их канцерогенности для животных.

В некоторых случаях в эту группу включают факторы, для которых нет данных о канцерогенности для человека или они неубедительны, но есть ограниченные доказательства канцерогенности для животных при наличии других сведений, указывающих на возможную канцерогенность.

Третья группа включает химические соединения, их группы, производственные процессы или профессиональные воздействия, которые не могут быть классифицированы с точки зрения их канцерогенности для человека. В эту группу включены факторы, не попадающие ни в одну из перечисленных выше групп.

К **четвертой группе** отнесены факторы, воздействие которых вероятно неканцерогенно для человека. Эта категория используется для характеристики химических соединений, групп соединений, производственных процессов или профессиональных воздействий, для которых существует доказательство, предполагающее отсутствие канцерогенности для человека вместе с доказательством, предполагающим отсутствие канцерогенности для экспериментальных животных.

Указанные подходы в целях объективизации заключений реализуются группами экспертов из разных стран – специалистов в определенных областях знаний. Периодически принятые ранее заключения в свете новых данных пересматриваются, чаще в сторону расширения перечня опасных по канцерогенному эффекту веществ и других факторов.

Аналогичный подход был использован при разработке отечественного официального «Перечня веществ, продуктов, производственных процессов и бытовых факторов, канцерогенных для человека» (ГН 1.1.725–98), в который вошли первые две из указанных групп (1-я и 2А).

В табл. I представлена выдержка из «Перечня», касающаяся доказанных канцерогенных факторов на производстве. В графу «Локализации ЗН» внесены органы-мишени, поражение которых отмечается наиболее часто при воздействии указанных факторов.

Продолжение прил. 1

Таблица 1

Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, канцерогенных для человека, и локализации ЗН, которыми связывают их воздействие

Вещества, продукты, производственные процессы и факторы с доказанной для человека канцерогенностью	Локализация ЗН
Соединения и продукты, производимые и используемые промышленностью, природные канцерогены	
4-Аминобифенил	Мочевой пузырь
Асбесты	Легкое, плевра, брюшина, желудочно-кишечный, тракт, гортань
Афлатоксины (В, а также природная смесь афлатоксинов)	Печень, легкие
Бензидин	Мочевой пузырь
Бензол	Кровотворная система
Бенз(а)пирен	Кожа, легкое
Бериллий и его соединения	Легкие
Бисхлорметилловый и хлорметилловый (технический) эфиры	Легкие
Винил хлорид	Печень, кровеносные сосуды, головной мозг, легкое, лимфатическая система
Иприт сернистый	Глотка, гортань, легкое
Кадмий и его соединения	Органы дыхания и мочевыделения, предстательная железа
Каменноугольные и нефтяные смолы, пеки и их возгоны	Кожа, легкие, мочевой пузырь, гортань, полость рта

Онкоопасные профессиональные факторы, процессы и производства. Вещества и продукты с доказанной для человека канцерогенностью

В промышленности производятся и используются многие вещества, соединения и продукты, в отношении которых имеются достаточные доказательства их канцерогенной опасности.

4-Аминодифенил. В настоящее время производство его запрещено, но ранее он использовался в резиновой промышленности в качестве высокоэффективного антиоксиданта. Встречается в виде примеси в анилине и дифениламіне. В небольшом количестве содержится в табачном дыме.

Продолжение прил. 1

У 11 % рабочих, имевших с ним производственный контакт в течение 1,5–19 лет, был обнаружен рак мочевого пузыря.

Асбесты. Асбест – широко распространенный в природе волокнистый силикат, входящий в группу минералов серпентина (белый асбест) и разновидностей амфибола – крокидолита (голубой асбест), амозита (коричневый асбест) и др. В различных месторождениях химический состав его близок, хотя и не идентичен; неодинаковы длина и диаметр отдельных волокон, их прочность. Широко распространен в производственной и окружающей среде.

Асбест применяют в более чем 3000 изделий, из которых главные – асбестоцементные листы и трубы, фрикционные, изоляционные и другие материалы для полов, перекрытий, прокладок. Наибольшее количество асбеста (до 2/3) используют в строительной промышленности. Содержание асбеста в изделии не обязательно указывает на его опасность для здоровья, так как во многих из них волокна прочно связаны с матриксом или инкапсулированы. Потенциально опасны для здоровья свободные волокна, появляющиеся, например, при сверлении или распиливании асбестоцементных листов.

Рабочие подвергаются воздействию пыли асбеста при добыче и обогащении асбестовых руд, изготовлении, транспортировке и использовании материалов и/или содержащих его изделий, в судостроении, при сносе или ремонте установок, зданий и сооружений, построенных с применением асбестосодержащих материалов.

Канцерогенная опасность асбеста доказана клиническими, эпидемиологическими и экспериментальными исследованиями в России и ряде других стран. Профессиональная экспозиция к асбестам амфиболовой группы и несколько в меньшей степени к хризотилу ведет к повышенному риску возникновения рака легкого. Кроме того, возможны развитие мезотелиомы плевры и брюшины, учащение рака

органов желудочно-кишечного тракта, гортани. Асбест, особенно жестких длиноволокнистых сортов, может вызывать у рабочих эпидермиты, дерматиты, асбестовые папилломы.

Проведенные в последние годы российско-финско-американские исследования показали, что добываемый и применяемый в нашей стране хризотил-асбест, содержащий низкие количества примесей других его форм, не является столь агрессивным, как на это указывают зарубежные данные. Это относится как к раку легких, так и мезотелиоме. Поэтому в профилактике вызываемых им заболеваний предложено исходить не из принципа его вытеснения и запрета, как это сде-

Продолжение прил. 1

лено в ряде западных стран, а использования в строго контролируемых и соответствующих гигиеническим требованиям условиям.

Эпидемиологические данные свидетельствуют, что при комплексном воздействии курения и пыли асбеста риск рака легкого возрастает в прямой зависимости от интенсивности обоих факторов.

ПДК асбестосодержащих пылей в воздухе рабочей зоны утверждены с учетом процентного содержания в них асбеста и его канцерогенных свойств.

Международная организация труда (МОТ) приняла специальную конвенцию (№ 162) и Рекомендации (№ 172) «Об охране труда при использовании асбеста».

Афлатоксины (В, а также природная смесь афлатоксинов). Афлатоксины – вещества, обладающие токсическими и канцерогенными свойствами. Вырабатываются некоторыми плесневыми грибами, которые встречаются повсеместно. Масштабы загрязнения ими пищевых продуктов и кормов для животных весьма значительны. В больших концентрациях их находят в арахисе и плодах других масличных культур, кукурузе, семенах хлопчатника, древесных орехах.

Случаи воздействия афлатоксинов на человека в производственных условиях единичны – в основном на фабриках по размолу арахиса и семян других масличных культур, а также при лабораторной очистке афлатоксинов для научно-исследовательских работ. При этом отмечались как случаи гепатита, так и рака печени.

В когортном исследовании служащих, осуществлявших в прошлом (за 10 лет до постановки диагноза) приемку загрязненных афлатоксинами импортированных продуктов, выявлено существенное превышение частоты первичного рака печени. По мнению экспертов

МАИР, природная смесь афлатоксинов безусловно канцерогенна для человека.

Бензидин – полупродукт в производстве большого числа азокрасителей. Определяется в воздухе, сточных водах предприятий по получению и применению этих красителей. Контакт с ним может происходить и при работе в лабораториях (исследование крови, снятие отпечатков пальцев).

Бензидин оказывает местное и резорбтивное действие. Связь между профессиональным контактом с ним и развитием рака мочевого пузыря доказана в основном при стаже работы 15 лет и более.

В России производство бензидина запрещено.

Продолжение прил. 1

Бензол является составной частью нефти, многих видов топлива. Может присутствовать в виде примесей в органических растворителях, масляных красках. Применяется главным образом для производства этилбензола, фенола, нитробензола, анилина и других веществ. Профессиональный контакт с ним имеется на многих производствах. Поступает в организм через органы дыхания и кожу.

Частота лейкозов среди работающих в контакте с бензолом в десятки раз превышает данные по статистике лейкозов.

Бенз(а)пирен содержится в продуктах термической переработки горючих ископаемых, попадает в продукты питания, загрязняет почву, воздух, растения. Является составной частью общего содержания ПАУ в сложных смесях. В их составе в воздухе рабочей зоны присутствуют бенз(а)пирен, нафталин, фенантрен, антрацен, другие ПАУ, а также дихлортолуолы, производные пиридина и пиррола. Бенз(а)пирен является своеобразным индикатором наличия ПАУ в тех или иных исследуемых объектах. В воздухе находится в адсорбированном состоянии на взвешенных частицах (различных видах пыли). Поступает в организм разными путями – ингаляционным (основной), кожным, пероральным. Обладает местным и системным канцерогенным эффектом.

Органами-мишенями для развития злокачественных опухолей при воздействии ПАУ, в том числе бенз(а)пирен, являются органы дыхания, кожа, желудок.

Бериллий и его неорганические соединения входят в состав многих сплавов, включая легированную сталь, применяются в атомной технике, авиации, космической промышленности. В воздухе рабочей зоны обнаруживаются в виде аэрозолей окиси самого металла (в производстве бериллия) или его сплавов.

Результаты эпидемиологических исследований среди производственных контингентов свидетельствуют о повышенной заболеваемости раком легких мужчин. Большинство случаев развития опухолей наблюдали у людей, работавших в производстве бериллия, причем в течение непродолжительного времени.

Кроме канцерогенного, оказывает аллергенное действие. *Бихлорметиловый и хлорметиловый (технические) эфиры* являются промежуточными продуктами в синтезе ряда органических соединений и в свободном состоянии не встречаются.

Они повышают риск заболевания раком легких, величина которого коррелирует с интенсивностью и длительностью воздействия. Увели-

Продолжение прил. 1

чение смертности от рака органов дыхания наиболее значительно среди рабочих старше 55 лет, средний латентный период до развития заболевания – 16 лет.

Винилхлорид (винил хлористый, хлорэтилен) может содержаться в воздухе рабочей зоны и атмосферы вблизи заводов по производству поливинилхлорида (ПВХ) и изделий из него, а также в питьевой воде, алкогольных напитках, растительных маслах. Разлагается (при нагревании) с образованием фосгена. Продуктами окисления в воздухе являются формальдегид, муравьиная кислота, хлористый водород.

Винилхлорид является канцерогеном непрямого действия и вызывает у рабочих ангиосаркомы печени, опухоли головного мозга, легких, кроветворной и лимфатической системы. Наибольшему риску (по онкологической заболеваемости и смертности) подвергаются рабочие, экспонированные к высоким концентрациям винилхлорида. Риск возрастает со стажем.

Среди женщин, проработавших на производстве винилхлорида и ПВХ, риск возростал при стаже свыше 5 лет. Наиболее часты новообразования кроветворной и лимфатической системы. ПДК в воздухе рабочей зоны установлена с учетом канцерогенного действия.

Иприт сернистый – боевое отравляющее вещество. Признан канцерогенным для человека по результатам эпидемиологических и экспериментальных данных. Смертность от рака респираторного тракта среди лиц, подвергавшихся воздействию иприта, заметно выше, чем в адекватных контрольных группах. У экспериментальных животных ингатиационное и внутривенное введение сернистого иприта приводит к существенному повышению частоты опухоли легких.

У рабочих японских фабрик по производству иприта число заболевших злокачественными опухолями в 10 раз превышало среднестатистическое значение.

Кадмий и его соединения. Промышленное значение имеют металл, его оксид и соли. Может содержаться в воздухе производственных помещений, где выполняются операции, связанные с применением как самого кадмия (производство полупроводниковых материалов, люминофоров, гальванических элементов, стержней в ядерных реакторах и др.), так и цинка с его примесью (например, гальванизация стали). Содержится в выбросах и сточных водах литейного производства.

У лиц, экспонированных к соединениям кадмия, повышен риск развития рака легкого и других отрезков респираторного тракта, а также предстательной железы и мочеполовых путей.

Продолжение прил. 1

Каменноугольные и нефтяные смолы, пеки и их возгоны. Каменноугольные пеки представляют собой сложные смеси ароматических и гетероциклических соединений, конденсированных ароматических структур, сажистых образований и механических примесей угля и кокса. Влияние на работающих отмечается при перегонке каменноугольной смолы, пиролизе нефти, дерева, торфа, в алюминиевой промышленности (входит в состав анодной массы для электролизеров), а также при получении изоляционных материалов, пластмасс и др.

Выявлен высокий риск рака мошонки среди рабочих топливной промышленности, рака легких и мочевого пузыря среди рабочих алюминиевой промышленности, имевших контакт с возгонами каменноугольных пеков. По результатам когортных исследований среди кровельщиков повышен риск рака легких и других органов респираторного тракта, а также пищевода, желудка, кожи, мочевого пузыря и крови (лейкозы).

Каменноугольные смолы являются побочным продуктом сухой перегонки или коксования угля и также представляют собой сложные смеси, в которых содержатся большое количество органических соединений, – ароматические углеводороды, фенолы, гетероциклические вещества и др. Служат сырьем для производства нафталина, крезолов, пеков и других материалов. Используются в сталелитейных производствах в качестве топлива, в фармацевтической промышленности, медицине для лечения различных хронических заболеваний.

Описано много случаев плоскоклеточного рака кожи у больных, использовавших мази на основе каменноугольной смолы. Анализ смертности среди рабочих топливной промышленности выявил высокий риск рака кожи мошонки. Повышен риск заболевания раком легких у рабочих, занятых на газификации угля и в производстве кокса. Среди профессий, имеющих контакт с каменноугольными смолами, отмечено повышение риска заболеваемости раком мочевого пузыря, почек, желудочно-кишечного тракта, органов кроветворения (лейкозы).

Минеральные масла неочищенные или не полностью очищенные. Химический состав зависит как от исходного сырья, так и от процессов очистки масел. Получают их при переработке нефти. Масла широко используют для изготовления СОЖ. Выделяющиеся при их применении аэрозоль, акролеин, ПАУ поступают в организм ингаляционным путем и через кожные покровы.

Продолжение прил. 1

СОЖ на масляной основе охлаждают режущий инструмент, ускоряют обработку металла на металлорежущих станках, при прессовании и штамповке заготовок в кузнечно-прессовых цехах; масла используют для закаливания изделий. В месте соприкосновения деталей происходят нагревание металла и разложение применяемых СОЖ с образованием летучих химических веществ, аэрозоля масла, содержащего ПАУ и акролеин. Известную опасность представляет сульфофрезол (смесь гудрона с веретенным дистиллятом и примесью серы).

Контакт с минеральными маслами повышает частоту развития опухолей пищеварительного тракта и кожи. Среди рабочих-инструментальщиков обнаружено учащение рака придаточных полостей носа, а среди механиков и инженеров, которые контактировали с охлаждающими маслами, содержащими в качестве добавок ароматические амины, – рака мочевого пузыря. Существуют доказательства канцерогенности для человека отработанных минеральных масел с различными добавками и загрязнениями в прядильном и джутовом производстве, а также после обработки металлов.

Сланцевые масла получают в результате пиролиза сланцев и широко используют в качестве смазок, добавок к высокосернистым нефтяным маслам и в других областях.

Канцерогенность сланцевых масел высоко- и низкотемпературной перегонки и их товарных сортов доказана в наблюдениях на людях и

экспериментальных животных. Локализация – рак кожи и других органов.

Высокая частота рака кожи (в основном мошонки) отмечена у рабочих, занятых в производстве сланцевых масел в Шотландии. В Англии зарегистрировано свыше 2000 случаев ЗН кожи у текстильщиков, подвергавшихся воздействию смазочных масел сланцевого происхождения. Когортные исследования в сланцевой промышленности в США выявили повышенную заболеваемость ЗН в целом и частоты рака толстой кишки.

Мышьяк и его неорганические соединения (окись мышьяка, гидроарсенит натрия, кальция, арсенит свинца). Мышьяк широко распространен в природе, встречается преимущественно в сульфидных рудах. Применяют как компонент сплава со свинцом и медью, в полупроводниковых материалах, при производстве инсектицидов и гербицидов, при изготовлении лекарственных препаратов. Выделение мышьяка в производственные помещения происходит при производстве многих металлов (меди и др.), добыче и выплавке золота.

Продолжение прил. 1

Неорганические соединения мышьяка признаны МАИР легочными и кожными канцерогенами. У рабочих, подвергшихся воздействию неорганических соединений мышьяка, обнаруживали также ангиосаркомы печени.

Повышение риска развития рака легкого наблюдали при добыче и выплавке меди, обработке меха, в производстве веществ для обработки овечьей шерсти, при производстве и использовании пестицидов, содержащих соединения мышьяка.

Случаи заболевания раком дыхательных путей отмечены среди рабочих, занятых в производстве инсектицидов, содержащих арсенаты свинца и кальция, на опрыскивании виноградников инсектицидами на основе соединений мышьяка и меди, а также среди сталеваров, находящихся в контакте с соединениями мышьяка.

Латентный период развития опухолей при контакте с мышьяком значителен и находится в диапазоне 10–56 лет (в среднем 25). При профессиональной экспозиции к мышьяку и курении риск развития рака легкого возрастает.

1-Нафтиламин технический, содержащий более 0,1 % 2-нафтиламина. 1-Нафтиламин – промежуточный продукт при производстве ряда красителей, пигментов, гербицидов, антиоксидантов. В свободном состоянии в природе не встречается, выделен из каменноугольной смолы. Может содержаться в сточных

водах предприятий, на которых производится или используется. Обнаружен в сигаретном дыме.

Среди рабочих, контактировавших с товарным 1-нафтил-амином не менее 5 лет и не занятых в производстве 2-нафтиламина или бензидина, наблюдали повышенную частоту заболевания раком мочевого пузыря. В связи с тем, что товарный 1-нафтиламин мог содержать от 4 до 10 % 2-нафтиламина, не следует относить его канцерогенность за счет только 1-наф-тиламина.

2-Нафтиламин – промежуточный продукт при производстве красителей. В свободном состоянии в природе не встречается, образуется при пиролизе азотсодержащих органических продуктов. Обнаружен в каменноугольной смоле, дыме отопительных систем и сигарет. В виде примеси содержится в промышленных образцах 1-нафтиламина. Производство его в России запрещено.

Эпидемиологические исследования показали, что существует причинная связь между профессиональным контактом с 2-нафтиламином или его смесями и возникновением рака мочевого пузыря. Имеются

Продолжение прил. 1

доказательства его канцерогенности для лабораторных животных и в экспресс-тестах.

Никель и его соединения (карбонат, тетракарбонил, дихлорид, фторид, гидрооксид и др.). Никель применяется как легирующий компонент ряда сортов стали и специальных сплавов, а также в производстве щелочных аккумуляторов, в гальванотехнике и др. Получают его пирометаллургическим, гидрометаллургическим и карбонильным способами. При всех способах подготовки сырья основной профессиональной вредностью является пыль сложного химического состава. В нее входят кремний, железо, алюминий, магний, сера, никель, кобальт, медь. Содержание свободного диоксида кремния колеблется от 4 до 20 %.

Плавка в руднотермических электропечах связана с использованием самоспекающихся электродов с содержанием в электродной массе до 24 % каменноугольного пека и смолы, поэтому в помещения выделяются смолистые вещества, бенз(а)пирен в концентрациях, превышающих ПДК.

Повышение заболеваемости раком органов дыхания, в том числе раком носоглотки, наблюдается среди рабочих, занятых в рафинировании (очистке) никеля, а также у сварщиков, работающих с обычной и нержавеющей сталью, содержащей хром и никель. По данным эпидемиологических исследований, риск заболеть раком у

экспонированных рабочих повышен в 5 раз. Латентный период для рака легкого у работающих в рафинировании никеля 9–27 лет (в среднем 20 лет).

Тальк, содержащий асбестоподобные волокна. В промышленности тальком называют многокомпонентные смеси, которые содержат определенные концентрации собственно талька. Особенностью тальксодержащих пылей является наличие листовидных или чешуйчатых частиц и характерных игольчатых структур минерала тремолита и волокнистых частиц амфиболового асбеста.

Тальк применяют в качестве наполнителя красок, при производстве бумаги, диэлектрика, а также в резиновой промышленности, парфюмерии, фармацевтике, медицине.

Описаны случаи возникновения рака легких и мезотелиом плевры у лиц, подвергавшихся экспозиции к тальку, содержащему асбестовые волокна. Когортные исследования рабочих, занятых в добыче тальковой руды и помоле талькитов, показали достоверное превышение смертности от рака легких. Исследования по методу случай–контроль выявили удвоение риска развития рака яичников у женщин, приме-

Продолжение прил. 1

нявших тальк в качестве накожных присыпок. В целом доказательства канцерогенности для человека талька, не содержащего асбестоформных волокон, признаны неадекватными, но данные в отношении талька, содержащего асбестовые волокна, являются убедительными.

2,3,7,8-Тетрахлордibenзо-пара-диоксин. Диоксины представляют собой сложные смеси, но обычно это название относят к 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-пара-диоксину. Они являются побочным продуктом и могут возникать в результате химических (при производстве гербицидов на основе хлордифениловых эфиров, при отбеливании целлюлозы, в производстве красителей, пигментов и других продуктов), термических (при сжигании муниципальных и бытовых отходов, осадков сточных вод, поливинилхлорида, угля, торфа и древесины, сгорании автомобильного топлива), фотохимических и биохимических реакций.

Источниками поступления диоксинов в окружающую среду служат металлообрабатывающая, металлургическая, целлюлозно-бумажная промышленность, возгорание и поломка электрического оборудования, где в качестве трансформаторной жидкости используются полихлорированные бифенилы. Образуются при лесных пожарах, если леса были обработаны хлор-фенольными пестицидами, при пиролизе твердого топлива (торфа, угля).

Диоксины обнаружены в хлорных производствах и с ними связывают подъем уровня заболеваемости рабочих раком органов респираторного тракта, пищеварительной системы и других локализаций. При контакте с трихлорфенолом (загрязнен диоксином) в 5–16,5 раза повышена смертность от рака желудка, легких, предстательной железы, кишечника, а также от сарком мягких тканей и лейкозов. Исследования по методу случай–контроль среди рабочих, подвергавшихся профессиональному воздействию феноксигербицидов и хлорфенолов (загрязнены диоксином), установлено 2–7-кратное повышение частоты опухоли носовой полости, 4–5-кратное – лимфом и 5–6-кратное сарком мягких тканей.

Хрома шестивалентного соединения (триоксид, соли хромовой кислоты). Хром и его соединения широко применяются в сталелитейной, машиностроительной, электрохимической и других отраслях промышленности, при синтезе органических красителей и др.

Отмечен большой уровень риска для рабочих, занятых в производстве хрома и бихроматов, – высокая смертность от рака дыхательных путей.

Продолжение прил. 1

Повышенная частота рака легкого наблюдается у рабочих, занятых в производстве хрома, при применении соединений шестивалентного хрома. У рабочих производства металлических сплавов выявлен повышенный риск возникновения ЗН органов дыхания, особенно при комбинированном воздействии соединений хрома и асбеста. У них также была повышена частота опухолей пищевода, предстательной железы, верхнечелюстной пазухи. У рабочих, занимающихся дублированием кож средствами, содержащими соединения хрома, повышено число ЗН – саркомы мягких тканей, множественных миелом.

Эрионит является достаточно распространенным природным неасбестовым волокнистым материалом и относится к группе цеолитов. Он входит в состав многих вулканических туфов и используется как селективный абсорбент в химической промышленности, в качестве строительного материала, в сельском хозяйстве как естественное удобрение для повышения плодородности почв.

В одном из регионов Турции установлена необычно высокая частота легочных заболеваний, в том числе мезотелиомы плевры и рака легких, которые нельзя было связать с наличием контакта с асбестом, так как последний не добывается (ввиду его отсутствия), но

вместе с тем в окружающей среде (почва, строительные материалы) обнаружен эрионит.

Среди населения трех поселков, где эрионит широко применяется в качестве строительного материала (а асбест отсутствует), оказались чрезвычайно высокими уровни смертности от мезотелиомы плевры. У проживавших там лиц в тканях легких найдены эрионитовые волокна.

Высокая частота мезотелиом плевры наблюдалась во всех экспериментах с эрионитом различного природного происхождения при ингаляционном, интраплевральном и внутрибрюшном и ином введении.

Этиленоксид (оксиран, окись этилена) – газ, который производят в промышленных масштабах и применяют как полупродукт в производстве этиленгликолей, поверхностно-активных и других веществ. Используется при стерилизации медицинских материалов.

В эпидемиологических исследованиях, проведенных среди рабочих по производству этиленоксида, выявлена повышенная частота лейкозов и рака желудка.

Продолжение прил. 1

Производственные процессы и производства с доказанной канцерогенной опасностью для человека

Деревообрабатывающее и мебельное производство с использованием фенолформальдегидных и карбамидформальдегидных смол в закрытых помещениях. Деревообрабатывающие производства – это комплексные предприятия по первичной и вторичной обработке дерева, предприятия по изготовлению древесностружечных (ДСП) и древесноволокнистых плит (ДВП), облицовочной пленки.

При первичной обработке дерева в технологическом цикле применяются клеи на основе карбамидоформальдегидной смолы. При изготовлении ДСП применяется такой же клей, но с содержанием свободного формальдегида не более 1 %.

При первичной обработке работающие подвергаются воздействию древесной пыли, содержащей формальдегид в заподимеризованной смоле, и свободного формальдегида, содержащегося в карбамидоформальдегидной смоле.

Эпидемиологические исследования выявили связь между риском развития рака полостей носа, придаточных пазух и глотки и

воздействием на работающих комплекса факторов деревообрабатывающего производства (ведущими из которых являются древесная пыль и формальдегид). Величина относительного риска составила 6,3 ($p < 0,05$) для рака полостей носа и придаточных пазух и 5,5 ($p < 0,01$) для рака глотки. Большинство локализаций ЗН возникало в трудоспособном возрасте, т.е. была тенденция к «омоложению» данного вида патологии при длительности латентного периода, как правило, свыше 10 лет (для ЗН глотки – в среднем 18–19 лет; при локализации в легких, трахее и бронхах – 15–22 года).

Медеплавильное производство (плавильный передел, конверторный передел, огневое рафинирование). Технологические процессы проводятся при высоких температурах, что сопровождается выделением в воздух рабочих помещений содержащихся в сырье канцерогенных веществ (соединений мышьяка, никеля, кремния и др.), обуславливающих канцерогенную опасность некоторых стадий медеплавильного производства.

Горнодобывающий промышленность и работы в шахтах, при которых отмечается экспозиция к радону. Радоновый рак легких (преимущественно бронхогенного типа) у рабочих урановых, флюоритовых и других рудников наблюдался при высокой концентрации радона

Продолжение прил. 1

(от 10 до 700 Бк/л). Смертность среди них превышала ожидаемую от 2–3 до 30–50, латентный период составлял 13–25 лет.

Радон является продуктом распада повсеместно распространенного радия и встречается в виде двух изотопов. Источниками радона служат кирпич и бетон, но главным образом земля под строение. Он проникает в строение вместе с воздухом, втягивающимся из почвы вследствие различий давления и температуры внутри и вне здания через неплотности и микротрещины (эффект дымохода).

Курение увеличивает риск развития заболевания, при этом латентный период у курящих горняков сокращается на 3–12 лет.

Оценки радона как причины рака легких в общей популяции колеблются от 1–5 до 10–40 %.

Производство изопропилового спирта. Изопропиловый спирт – промышленный растворитель и дезинфектант, используется как заменитель этилового спирта в косметических средствах (лосьюнах, лаках). Среди рабочих, занятых на производстве изопропилового спирта, отмечено большое число случаев рака пазух носа и рака гортани. Возможно, это обусловлено таким побочным продуктом, как

изопропиловое масло, или сернокислым диизопропилом – промежуточным продуктом синтеза.

Производство кокса, переработка каменноугольной, нефтяной и сланцевых смол, газификация угля. На условия труда в производстве металлургического и пекового кокса оказывает влияние высокотемпературный процесс, сопровождающийся образованием летучих химических веществ, в том числе канцерогенов. Летучие ПАУ сорбируются на угольной и коксовой пыли. При получении газа из угля в его состав могут входить насыщенные и ненасыщенные углеводороды, пары дегтя, содержащие моноциклические (бензол, толуол) или полициклические (нафталин и антрацены) углеводороды, аммиак, сероводород и др.

Описано много случаев возникновения рака кожи (в основном мошонки), мочевого пузыря и респираторного тракта у лиц, занятых в сухой перегонке угля. Эти данные подтверждены анализом причин смертности среди рабочих в данной отрасли.

Ряд эпидемиологических исследований, проведенных в Великобритании, свидетельствуют о том, что рабочие заводов по газификации угля (в основном муфельных цехов) подвержены высокому риску заболевания раком легкого (вероятный этиологический агент – испарения каменноугольной смолы) и несколько меньшему – опухолей мочевого пузыря.

Продолжение прил. 1

Производство резины и резиновых изделий. Резина имеет сложный состав: помимо каучука, в нее входят десятки различных ингредиентов. Она является активным сорбентом и носителем канцерогенных ПАУ, в том числе бенз(а)пирена. Канцерогенную опасность представляют и другие компоненты резины – мазуты, нефтяные масла, смолы, бензин и др.

В подготовительных и вулканизационных цехах производства в воздух рабочей зоны выделяется множество сырьевых, промежуточных и побочных продуктов в виде пыли, газов и паров.

Вулканизационные газы, например, представляют собой сложную паро-газо-аэрозольную смесь, в состав которой входит свыше 150 веществ. Среди них немало канцерогенов: парафины, нафтены, амины (как предшественники N-нитрозаминов) и др.

В производстве обуви наряду с традиционными изделиями из резины используют полимерное сырье: ПВХ, полистирол, полиакрилонитрил и другие полимеры. При этом не исключено выделение из сырья исходных мономеров – винилхлорида, акрилонитрила (АН), стирола, хлоропрена и других канцерогенов. На

разных участках технологического процесса в воздух производственных помещений выделяется тальк, который может содержать такой канцероген, как асбестовые волокна.

Производство резины признано канцерогенноопасным на основе многочисленных эпидемиологических исследований в разных странах. У работающих обнаружен повышенный риск развития рака мочевого пузыря, желудка, лейкозов, опухолей головного мозга и других органов.

По данным отечественных исследований, в подготовительных цехах, при прессовании и вулканизации резиновых изделий, а также проведении вспомогательных работ среди некоторых профессиональных групп повышен риск развития рака полости рта и глотки, желудка, гортани, легкого, поджелудочной железы, желчного пузыря, головного мозга, лимфатической и кровяной ткани. По-видимому, это обусловлено не одиночным химическим компонентом, а сочетанием вредных воздействий.

По оценке экспертов МАИР, канцерогенность для человека производственных воздействий в резиновой промышленности считается доказанной. Достаточны доказательства повышения частоты рака мочевого пузыря, легкого, желудка и лейкозов. В отношении других опухолей доказательства носят ограниченный характер. В отечественных

Продолжение прил. 1

исследованиях не было выявлено значимого повышения риска рака мочевого пузыря у рабочих таких производств, что, возможно, связано с особенностями отечественной рецептуры резиновой смеси, не использовавшей соединения, загрязненные 2-нафтиламином. Именно с его воздействием связывают повышенный риск рака этой локализации, в частности у рабочих британской резиновой промышленности.

Производство технического углерода. На сажевых производствах процесс ведется при высокой температуре и сопровождается выделением канцерогенных ПАУ, что дает основание отнести его к онкоопасным.

Производство угольных и графитовых изделий, анодных и подовых масс с использованием пеков, а также обожженных анодов. Основой для производства угольных и графитовых изделий являются сажа, графит, углеродные волокна, углепластики и другие материалы на основе углерода. Многие из них широко используются в разных областях. И в производстве, и при их применении возможны выделение в воздух и загрязнение кожных покровов веществами,

содержащими ПАУ, в том числе бенз(а)пирен, в концентрациях, превышающих ПДК.

У рабочих ряда профессий выявлена тенденция к повышению риска возникновения ЗН, в частности, органов дыхания и пищеварения. Выявлена зависимость канцерогенного эффекта от суммарной поглощенной дозы ПАУ.

Производство чугуна, стали (агломерационные фабрики, доменное и сталеплавильное производство, горячий прокат) и литья из них. Рабочие многих профессий этих производств подвержены повышенному риску развития ЗН: рака полости рта и глотки, желудка, гортани, легкого, поджелудочной железы, желчного пузыря, головного мозга, лимфатической и кровяной ткани.

Основными влияющими факторами являются канцерогенные ПАУ и металлы (при получении высококачественных сталей в качестве легирующих добавок используют, например, соединения хрома и никеля), обуславливающие онкоопасность этих производств.

Электролитическое производство алюминия с использованием самоспекающихся анодов. В производстве алюминия электролитическим путем применяются электролизеры с самообжигающимися анодами, которые формируются в процессе электролиза из анодной массы, состоящей из пекового или нефтяного прокаленного кокса и связующего – каменноугольного пека.

Продолжение прил. 1

Процесс сопровождается выделением в воздух рабочих помещений канцерогенных смолистых возгонов каменноугольного пека, диоксида кремния и других веществ, среди которых и неорганические кислоты. Они могут присутствовать в воздухе производственных помещений в виде аэрозоля или паро-газообразном состоянии. По эпидемиологическим данным, экспозиция к аэрозолю серной кислоты повышает риск опухолей полости носа, полости рта и глотки, гортани, легкого.

Среди рабочих электролитического производства алюминия (основная профессия – электротник) обнаружен высокий риск рака легкого и желудка.

Вещества, вероятно канцерогенные для человека (группа 2А по классификации МАИР)

Акриламид – широко применяется при очистке воды, в текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности и других областях. В когортных исследованиях среди рабочих, имевших

контакт с акриламидом, наблюдалось незначительное увеличение частоты смертей от рака поджелудочной железы. Классифицируя акриламид по его канцерогенности, эксперты МАИР учли также результаты, полученные в краткосрочных биопробах, и включили это вещество в группу 2А.

Акрилонитрил (нитрил акриловой кислоты) применяют в производстве волокон, смол и других продуктов; в смеси с четыреххлористым углеродом используют в качестве фумиганта при хранении табака. В эпидемиологических исследованиях на рабочих-мужчинах, подвергавшихся действию акрилонитрила и наблюдавшихся в течение 20 лет и более, отмечено повышение частоты рака легкого, желудка, толстой кишки, предстательной железы, опухолей головного мозга. Канцерогенное действие акрилонитрила выявлено также по показателям смертности от ЗН среди рабочих стадии полимеризации производств полиакрилонитрильных волокон.

Бенз(а)антрацен относится к группе ПАУ и обладает сходными канцерогенными свойствами с бенз(а)пиреном. Канцерогенность его доказана в эксперименте на животных и по активности в краткосрочных биопробах.

1,3-Бутадиен применяется при производстве сополимерных латексов, различных синтетических смол. В природе как естественный продукт не встречается, но обнаружен в воздухе рабочих зон, атмосфере промышленных городов, питьевой воде, пищевых продуктах (маргарине) и дыме сигарет.

Продолжение прил. 1

В ретроспективных когортных исследованиях выявлено повышение частоты заболеваемости новообразованиями кроветворной системы среди рабочих резиновых производств, где применялся 1,3-бутадиен. Однако при этом нельзя было исключить причинную роль и других одновременно присутствовавших веществ – стирола и бензола, поэтому канцерогенность для человека признана недостаточно доказанной. Канцерогенность для животных установлена на основе убедительных данных.

Винилбромид – газообразный продукт, который применяют как сомономер с акрилонитрилом в производстве волокон. В эксперименте на животных при ингаляционном введении отмечено повышение частоты ангиосарком печени, при подкожном введении развивались саркомы.

Винил фтористый применяют в производстве фторполимеров. В опытах на животных при ингаляционном введении вызывает

гемангиосаркомы и гепатоцеллюлярные аденомы печени, бронхоальвеолярные аденомы, рак грудной железы.

Дибенз(a,n) антрацен составляет незначительную часть общего содержания ПАУ в окружающей и производственной среде. Встречается повсеместно как продукт неполного сгорания топлива. Идентифицирован в дыме сигарет, смоле выхлопных газов бензиновых двигателей, в воздухе городов, продуктах сжигания каменного угля, в отработанном машинном масле, каменноугольной смоле, рыбе и мясе, жаренных на древесных углях, в овощах, пищевых маслах, водных загрязнениях. Канцерогенные свойства – системные и локальные (опухоли легких) – выявлены в эксперименте на животных и по активности в экспресс-тестах.

Диметилкарбамоилхлорид (ДМКХ) – полупродукт в производстве пестицидов (карбаматы) и фармацевтической промышленности. Случаев смерти среди рабочих, имевших производственный контакт с ДМКХ в течение от 6 мес. до 12 лет, не отмечено. В эксперименте при нанесении на кожу образовывались бородавки, которые перерождались в рак; при введении в брюшную полость наблюдали образование сосочко-вых опухолей, при длительной ингаляции – саркобластома носа.

В 1980 г. Американское общество по защите окружающей среды включило ДМКХ в список веществ, которые могут оказывать канцерогенное действие на человека.

Продолжение прил. 1

Диметилсульфат применяют как метилирующий агент в химической промышленности, производстве красителей, душистых веществ, лекарственных препаратов, в качестве растворителя при разделении минеральных масел. Проникает в организм ингаляционным путем и через кожу.

Описаны единичные случаи бронхогенного рака у людей, подвергавшихся профессиональному воздействию диметилсульфата, но канцерогенность для человека считается недоказанной. По результатам экспериментальных исследований диметилсульфат оказывает канцерогенное действие как непосредственно, так и на плод в период внутриутробного развития.

Диэтилсульфат – промежуточный продукт в производстве этилового спирта из этилена, находит применение в ряде химических производств. При когортном исследовании 743 рабочих, контактировавших с диэтилсульфатом при производстве этилового и изопропилового спирта, обнаружено превышение смертности над

ожидаемой (4 случая против 0,8) от рака гортани. В эксперименте вызывал опухоли разной локализации при разных путях введения: подкожном (на месте введения), трансплацентарном (опухоли нервной системы), пероральном (опухоли преджелудка).

Иприт азотистый применялся как химическое оружие, является промежуточным продуктом в химических производствах, используется и в других областях. Канцерогенность азотистого иприта для человека доказана (группа 2А). Описано много случаев острого нелимфоцитарного лейкоза у больных с опухолями, которых лечили азотистым ипритом в сочетании с другими цитотоксическими агентами и/или облучением. В эксперименте вызывает ЗН при разных путях введения и разной локализации (легких, других органов, лимфомы), при накожной аппликации – на месте нанесения.

Кантафол – фунгицид, применяется как отдельно, так и совместно с интентицидами и другими фунгицидами. Имеются экспериментальные доказательства его канцерогенностью (аденокарциномы и сосудистые опухоли сердца, гепатоцеллюлярные и почечные карциномы), выявлена дозоответная зависимость – увеличение частоты случаев с повышением дозы.

Красители на основе бензидина используются при окраске кожи, шелка, целлюлозы, шерсти, ацетатных и нейлоновых волокон. Среди них наиболее известны и широко применяются Прямой коричневый 95, Прямой синий 6 и Прямой черный 38. Их канцерогенная актив-

Продолжение прил. 1

ность проявляется после метаболических превращений, в результате которых образуется бензидин.

Доказательства канцерогенное для человека экспертами признаны недостаточными, хотя среди красильщиков и художников по шелку, контактирующих в процессе работы с бензидиновыми красителями, повышен риск заболевания раком мочевого пузыря. Вместе с тем данные, полученные на экспериментальных животных, достаточно убедительны.

Кремний и его диоксид встречаются в природе в форме кристаллов (кварц, тридимит, кристобалит), геля (опал), аморфной структуры. Применяются в виде кварцевого песка в производстве стекла, керамики, абразивов, бетонных изделий; в составе огнеупорных материалов (шамот, динас); для получения кремния, кремниевых ферросплавов. Воздействию пыли диоксида кремния в свободном и связанном состоянии (в составе силикатов) подвергаются рабочие очень многих профессий при добыче руд и угля, в машиностроении и других отраслях промышленности.

По данным эпидемиологических исследований, кристаллический кремний вызывает профессиональный рак легкого и других локализаций. Смертность от рака легкого среди мужчин производства керамических изделий, подвергавшихся воздействию высоких уровней кремнеземной пыли, не содержащей тальк, повысилась в 1,37 раза. Среди больных силикозом также оказалась повышенной частота смертности от рака. Канцерогенность кристаллического кремния подтверждена и в ряде других наблюдений. Имеет место дозоответная зависимость, но действие проявляется даже при очень низких концентрациях пыли в воздухе рабочей зоны – на уровне $0,1 \text{ мг/м}^3$ (по респираторной фракции).

Креозот – продукт сухой перегонки древесины или каменноугольного дегтя и представляет собой смесь фенольных и ароматических соединений. Используется для защитной пропитки дерева, борьбы с паразитами животных, в качестве смолы для кровельного материала, как топливо и смазка для литейных форм, для получения черной краски. Длительные контакты с ним могут привести к развитию кожных новообразований. У экспериментальных животных легко вызывает рак кожи.

4,4-Метилен-бис(2-хлоранилин) применяют в производстве изоцианатсодержащих полимеров и при вулканизации смесей эпоксиуретановых смол. Эпидемиологических данных для оценки канцерогенно-

Продолжение прил. 1

сти его для человека нет. В эксперименте при пероральном и подкожном введении вызывает опухоли различной локализации.

N-Метил-*N*-Нитрозоамины применяют для лабораторных целей и в микробиологии для продуцирования новых штаммов бактерий. Эпидемиологических данных нет, но в эксперименте при разных способах введения дает местный канцерогенный эффект.

N-нитрозодиметиламин, как и другие *N*-нитрозосоединения, образуется при воздействии нитрозирующих агентов, являющихся производными азотистой кислоты. Синтетические и полусинтетические охлаждающие жидкости и масла могут содержать до 3 % нитрозоаминов. Нитрозамины используются в электротехнической и других отраслях промышленности, в том числе в производстве резины, красителей, смазочных масел, взрывчатых веществ, инсектицидов и фунгицидов.

Большое число *N*-нитрозосоединений обладают цитотоксичностью, канцерогенным и мутагенным действием. Прямых сведений о том, что *N*-нитрозосоединения канцерогенны для человека,

нет, но тот факт, что они являются таковыми для большого числа разных видов животных, дает основание полагать, что вряд ли человек составляет исключение в этом отношении. Эти соединения могут накапливаться в продуктах питания людей, а также образовываться в самом организме при взаимодействии аминов с нитритами. Установлено, что канцерогенные нитрозамины и нитрозамиды образуются в желудке животных, которым скармливали с пищей различные вторичные и третичные амины и нитриты.

Эти данные указывают на существование для людей опасности, возникающей при попадании нитритов в пищу, которые используются как добавки к пищевым продуктам и могут образовываться из нитратов в организме под действием микроорганизмов желудочно-кишечного тракта.

N-нитрозодиэтиламин содержится в табачном дыме, отдельных сортах сыра, рыбных и мясных продуктах, алкогольных напитках. Эпидемиологических данных нет, но в эксперименте канцерогенен для всех видов животных. Вызывает доброкачественные и злокачественные опухоли при разных путях введения. Основные органы-мишени – печень, респираторный и верхний отдел пищеварительного трактов, почки.

Отработавшие газы дизельных двигателей представляют собой газообразную смесь из сотен химических соединений, в составе которой канцерогенные ПАУ, окислы азота, формальдегид и другие соедине-

Продолжение прил. 1

ния. Их промышленному воздействию подвергаются много профессиональных групп, включая железнодорожных рабочих, лиц, обслуживающих дизели и дизельное оборудование в шахтах, гаражных рабочих, профессиональные шоферы, таможенники, пограничники и др.

Отработавшие газы дизельных двигателей рассматриваются как возможные канцерогены для человека с локализацией рака в легких и органах кроветворения.

Когортные исследования шоферов в Швеции выявили повышенный риск рака легкого. Отмечено повышение риска гемобластозов (но оно было статистически незначимым). В двух последующих исследованиях случай–контроль установлена связь длительности воздействия с риском развития множественной миеломы и хронического лимфоцитарного лейкоза.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) как коммерческие продукты представляют жидкость, которую используют в качестве переносчиков

тепла, в гидравлических и смазочных жидкостях, в производстве пластмасс и других областях.

При обследовании небольшой группы рабочих-мужчин, контактировавших со смесью ПХБ, выявлено учащение случаев возникновения рака, в частности меланом кожи. В другом исследовании у промышленных рабочих обнаружено незначительное увеличение числа случаев рака прямой кишки и печени. Среди лиц, занятых изготовлением конденсаторов, была повышена частота случаев рака пищеварительной системы и гемобластозов.

Некоторые ПХБ обнаруживают канцерогенные свойства в эксперименте, вызывая при пероральном введении ЗН печени. ПХБ содержатся в воздухе больших городов, в таких пищевых продуктах, как рыба, яйца, мясо.

Пропилен (*пропиленоксид*) производят промышленным способом и применяют в качестве полупродукта в производстве многоатомных спиртов, пенополиуретанов и других областях.

Результаты обследования рабочих, контактирующих с пропиленоксидом, не позволяют сделать убедительных выводов о его канцерогенности для человека. Канцерогенность его изучена в эксперименте на животных: при пероральном введении наблюдали локальное развитие опухолей (главным образом плоскоклеточного рака и папиллом преджелудка) с частотой, зависящей от дозы. При ингаляционном поступлении он вызывал гемангиомы, гемангиосаркомы и со-

Продолжение прил. 1

сочковые аденомы носовых раковин, феохромоцитомы надпочечников и мезотелиомы брюшины.

Стирол (*7,8-оксид*) производят в промышленных масштабах и используют в качестве промежуточного продукта во многих процессах химической индустрии, в частности как пластификатор и растворитель эпоксидных смол, связующий агент при синтезе полиэфиров и полиуретанов.

Результаты эпидемиологических исследований на людях, имевших контакт со стирилом оксидом, недостаточно убедительны, но для животных канцерогенность его признана доказанной.

Тетрахлорэтилен (*перхлорэтилен, 1,1,2,2-трихлорэтилен*) применяют для сухой чистки тканей, промышленной очистки металла, в качестве промежуточного продукта и растворителя.

Анализ смертности 330 рабочих предприятий химчистки (в большинстве женщин) выявил повышенные ее уровни от рака.

Наиболее частыми локализациями были рак легких, шейки матки, кожи, первичный рак печени и лейкоз. В ретроспективном когортном исследовании отмечено небольшое превышение случаев рака толстой кишки над ожидаемыми уровнями, но эти результаты признаны неубедительными вследствие короткого периода наблюдения и возможности воздействия других соединений.

Канцерогенность тетрахлорэтилена для человека признается недоказанной, а данные, полученные на экспериментальных животных, носят ограниченный характер (при пероральном введении он вызывал ЗН печени).

О-толуидин (2-метиланилин) и его гидрохлорид используют в производстве различных красителей, как полупродукт для получения фармацевтических препаратов, пестицидов и химикатов для резиновой промышленности, специальных красителей для цветной фотографии, применяют в клинических лабораториях.

У работающих, подвергавшихся воздействию различных красителей, выявлена повышенная частота опухолей мочевого пузыря, но данных о лицах, подвергавшихся воздействию только *О-толуидина*, нет. Отдельные случаи опухолей мочевого пузыря зафиксированы среди экспонированных преимущественно к *О-толуиду*, но эти данные признаны недостаточными, а время наблюдения не позволило установить определенную связь между заболеваемостью и его воздействием. Повышенная частота опухолей мочевого пузыря отмечена у подвер-

Продолжение прил. I

гавшихся воздействию толуола, *О-нитротолуола*, *О-толуидина* в производстве красителей (фуксины и др.).

Трис-(2,3-дибромпропил)-фосфат применяют преимущественно как добавку термостойкости текстиля из синтетики и пластика. Эпидемиологических данных о его канцерогенности нет, но в эксперименте при внутрижелудочном введении развивались опухоли пищевода, легких и почек. После аппликации на кожу возникали опухоли кожи, легких, пищевода и полости рта.

Трихлорэтилен (1,1,2-трихлорэтилен, этилентрихлорид, бензинол) применяют как промежуточный продукт в производстве винилиденхлорида, а также в качестве растворителя.

Данных эпидемиологических исследований о его канцерогенности нет, но в эксперименте при пероральном введении он вызывал гепатоцеллюлярный рак и феохромоцитомы надпочечников.

Обнаружен в питьевой воде, в сточных водах промышленных предприятий.

1,2,3-Трихлорпропан образуется в значительных количествах как полупродукт в ряде химических технологий. Его применяют в основном в качестве растворителя и экстрагирующего агента для лаков и красок, при получении жидких полимеров.

В производственных условиях возможно воздействие ингаляционным путем и при контакте с кожными покровами, но данные о его канцерогенной опасности для человека недостаточны. Вместе с тем результаты экспериментальных исследований убедительны: при внутрижелудочном введении возникали опухоли слизистой оболочки рта и матки у самок, опухоли пищевода, печени, почек, поджелудочной железы.

Формальдегид – газ, но легко полимеризуется как в жидком, так и в твердом состоянии. Торговый препарат, известный как формалин или формоль, получают в виде водного раствора, содержащего по массе 37–50 % формальдегида. Его широко применяют в производстве синтетических смол (мочевинофеноло- и меламиноформальдегидных), красителей, каучуков, искусственного шелка, взрывчатых веществ, для дубления кожи, в качестве антисептика, фунгицида, в консервантах и т.п.

Имеются данные о том, что у работающих в контакте с формальдегидом развивается рак носовой полости, околоносовых пазух и носоглотки (гистологически – это аденокарциномы). У мебельщиков при совместном воздействии древесной пыли и формальдегида увеличен

Продолжение прил. 1

риск развития аденокарциномы полости носа и придаточных пазух. Эпидемиологическими методами установлено, что при профессиональном контакте с ним повышен риск рака кожи (бальзамировщики, дезинфекторы), опухолей полости рта и глотки, желудка, толстой кишки, рака предстательной железы, легкого (у работников заводов по производству формальдегида), лейкозов. Формальдегид обладает аллергенным и раздражающим свойствами.

Формальдегид является канцерогеном для животных, но отнесен к группе вероятных канцерогенов для человека. Он оказывает также аллергенное и раздражающее действие.

Пара-хлор-орто-толуидин применяют в производстве азокрасителей для хлопка, шелка, ацетата, нейлона, как инсектицид для хлопка и др.

Убедительных данных о его канцерогенности для человека и животных нет, но в эксперименте при внутрижелудочном введении частота гемангиосарком с локализацией в различных органах была повышена.

Эпихлоргидрин применяют в качестве алкилирующего агента при получении синтетического глицерина, эпоксидных смол и для других целей.

Эпидемиологические исследования, проведенные среди рабочих, контактировавших с ним, выявили статистически значимое учащение рака респираторных органов. Однако некоторые из них работали также на производстве изопропилового спирта, где был возможен контакт с диизопропилсульфатом. Канцерогенность эпихлоргидрина для человека считается недоказанной, но экспериментальные данные и результаты исследования активности в экспресс-тестах позволяют по этому эффекту отнести его к группе 2А. Он раздражающе действует на слизистые оболочки глаз и дыхательных путей, а также на поврежденную кожу.

Этилен дибромид применяют как добавку в бензин, фунгицид для почвы и зерна, промежуточное вещество в синтезе красителей и фармакопрепаратов, в качестве растворителя резины и смол. Наблюдений над рабочими нет. В группу 2А по канцерогенной активности включен по результатам эксперимента (при внутрижелудочном введении – чешуйчато-клеточная карцинома пищевода) и краткосрочных тестов.

Продолжение прил. 1

**Производства и процессы, не отнесенные к доказанным
по канцерогенной опасности, но при которых в воздух рабочей
зоны могут поступать канцерогенные вещества**

Производство синтетического каучука. Синтетические каучуки (СК) относятся к важнейшим продуктам современной нефтехимии. Наиболее распространенные виды – дивинил-стирольные, изопреновые, дивинилнитрильные, дивиниловые, хлоропеновые, бутилкаучуки. Их используют для изготовления разнообразных резиновых изделий. Более половины СК расходуется на производство шин. При получении СК основной стадией является полимеризация мономеров, которые совместно с другими сырьевыми и промежуточными веществами могут поступать в воздух рабочей зоны

в виде газовой выделений сложного состава, а также загрязнять кожные покровы работающих.

При получении дивинилстирольного каучука исходными мономерами являются бутадиен, стирол, этилбензол; в производстве изопренового каучука газовые выделения состоят из предельных и непредельных углеводородов, ведущее место среди которых занимают формальдегид, диметилдиоксан, изопрен; в производстве полидивиниловых каучуков в составе сложных смесей преобладают бензол, толуол, дивинил, циклогексан.

Работающие в производстве синтетического каучука подвергаются воздействию химических веществ, обладающих общетоксическим и канцерогенным действием – бензола, хлоропрена, формальдегида, бутадиена, стирола.

Сварочные работы. Сварка конструкций из высокопрочных видов легированной стали сопровождается выделением в воздух рабочей зоны соединений канцерогенных металлов (шести- и трехвалентного хрома, никеля), а также сложного комплекса других веществ, оказывающих раздражающее и общетоксическое действие.

Нанесение лакокрасочных покрытий – завершающая стадия технологии ряда производств. Она состоит из нескольких этапов, при которых используются соединения металлов, растворители, смолы, лаки, эмали, пигменты, в том числе много канцерогенов – соединения хрома, фенолформальдегидные и эпоксидные смолы, продукты деполимеризации полихлорвинила и акрилнитрила и др.

Значительное выделение вредных веществ в воздух рабочих помещений отмечается при приготовлении и нанесении лакокрасочных материалов, а также сушке окрашенных изделий.

Окончание прил. 1

Нанесение металлических покрытий на поверхность металлоизделий осуществляют для защиты от коррозии, обеспечения повышенной прочности и с декоративной целью. Промышленное применение имеют гальваностегия (осаждение тонкого слоя другого металла в растворе электролита под воздействием электрического тока), покрытие путем окунания изделия в ванну с расплавленным металлом или металлизации, т. е. разбрызгивания струи расплавленного металла в сжатом воздухе на поверхность изделия. Наконец, используют так называемое диффузное покрытие – совместное нагревание изделия и порошка металла при температуре плавления последнего.

Практически все эти процессы сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны вредных веществ, в том числе обладающих

канцерогенными свойствами, – хрома, никеля, кадмия, паров растворителей и смол.

Кожевенное производство включает процессы, при которых используют много химических веществ разнообразного спектра действия. Среди них большое число канцерогенно-опасных соединений, в частности хрома, бензола и других растворителей, мышьяка, анилиновых красителей, которые могут оказывать воздействие на работающих.

Анилинокрасочная промышленность – отрасль химической промышленности, производящая синтетические органические красители и полупродукты, необходимые для их получения, а также вспомогательные вещества для крашения и отделки волокон, тканей, бумаги, кожи, пластмасс, для изготовления лекарственных препаратов, для борьбы с вредителями растений и сорняками, ускорители вулканизации каучука и противостарители резины и др.

Длительная работа с амино- и нитросоединениями ароматического ряда может привести к хроническим отравлениям (токсические гепатиты, нарушения нервно-психической сферы) и раковым заболеваниям. Профессиональными являются опухоли мочевого пузыря, которые вызываются воздействием 2-нафтиламина – примеси технического 1-нафтиламина, бензидина, бензидинсульфата.

Приложение 2

Альдегиды

Токсическое действие. Наркотики. Характерно раздражающее действие на слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. С увеличением числа углеродных атомов наркотическое действие паров усиливает-

Продолжение прил. 2

ся, раздражающее – ослабляется. Низшие члены ряда, лучше растворяющиеся в воде, действуют больше на верхние дыхательные пути; высшие, менее растворимые, проникают глубже и поражают преимущественно глубокие дыхательные пути. Непредельные альдегиды (А) жирного ряда действуют раздражающе сильнее предельных; А жирного ряда влияют на сердечную деятельность, возмужая на биосинтез и выделение катехоламинов. Действие ароматических А слабее. Вследствие их малой летучести наркотическое действие их паров не может отчетливо проявиться. Ненасыщенные А значительно токсичнее насыщенных.

Углеводороды

Токсическое действие. Химически наиболее инертные среди органических соединений, предельные углеводороды (ПУ) являются в то же время сильнейшими наркотиками. Практически ПУ ослабляется ничтожной растворимостью их в воде и крови, вследствие чего необходимы высокие концентрации в воздухе, чтобы создались опасные концентрации в крови. Поэтому метан дает наркотический эффект только в случае воздействия его на животных при давлении 2,5–3 атм. С увеличением числа атомов углерода сила наркотического действия ПУ (в соответствии с общим правилом Ричардсона о возрастании силы, наркотического действия в гомологических рядах) растет. Нормальные ПУ действуют сильнее соответствующих изо соединений. Убывание летучести и растворимости высших гомологов, начиная с декана, ведет к уменьшению силы действия паров. Высшие члены ряда вредны больше вследствие действия на кожу, чем при вдыхании паров.

Механизм действия ПУ, в основном, тот же, что и всех прочих «индифферентных» наркотиков (о теориях наркотического действия). Существует предположение об образовании в центральной нервной системе микрокристаллов ПУ при соприкосновении с водной фазой. Нестойкость этих микрокристаллов при снижении парциального давления объясняет быструю обратимость наркотического действия ПУ. При наркотическом эффекте ПУ тонус мышц и рефлексы исчезают почти перед самой смертью, наступающей от паралича дыхания. У животных ПУ (C₃–C₈) вызывают внезапные общие титанические судороги и смерть часто без наступления даже легкого наркоза. Характерна неустойчивость реакций центральной нервной системы, возникающая под влиянием паров некоторых ПУ. Это позволило отнести их к числу наркотиков особого (второго) типа. Такое действие проявляется не

Продолжение прил. 2

только на уровне высоких концентраций, но и при воздействии низких, пороговых (Люблина). При хроническом отравлении ПУ не вызывают тяжелых органических изменений. Средние члены ряда слегка раздражают дыхательные пути.

Мышьяк

Токсическое действие. Минимальная наркотическая концентрация для белых мышей паров мышьяка (М.). 87 мг/л, Э. ~ 42,5 мг/л. При концентрации М. 57 мг/л впервые 15 мин появляются признаки

раздражения дыхательных путей, развивается атаксия, в течение третьего часа – наркоз. После 7-часовой экспозиции погибает 50 % мышей. При отравлениях по 7 ч ежедневно концентрацией 58 мг/л 80 % мышей пало после первых двух затравок; при 35 мг/л после 15 затравок в течение 22 дней отмечалась частичная гибель животных. У павших слабые дегенеративные изменения в почках и печени. У морских свинок при вдыхании М. в концентрации 470 мг/л в течение 20 мин слезотечение, чихание, кашель, рвота, развивался наркоз, а через 1,5–2,5 ч животные погибали. На вскрытии – бронхопневмония, дегенеративные изменения в сердечной мышце, почках и печени.

Кетоны

Общий характер действия. Летучие наркотики, оказывающие также стимулирующее действие на дыхательный центр. Раздражающее действие чистых кетонов слабое. На кожу заметно не действуют.

Галогенпроизводные углеводов

Токсическое действие. При вдыхании значительно менее ядовиты, чем хлорпроизводные углеводов. Галогенпроизводные производные действуют в общем наркотически. Некоторые фторэтилены действуют настолько слабо, что при атмосферном давлении вообще не дают наркотического эффекта (даже в концентрации 80 %). Однако есть указания на высокую токсичность дифторуглеводородов типа $F(CH_2)_nF$; очень токсичен также перфторизобутилен $(CF_3)_2C = CF_2$. Фторуглеводороды (ФУ) с низкими температурами кипения вызывают судороги в стадии выхождения яда. С повышением температуры кипения наркотическое и токсическое действие усиливается. Наименьшей токсичностью обладают перфторуглероды и перфторированные углеводороды. Более токсичны фторзамещенные олефины. Возможно, что это связано

Продолжение прил. 2

с образованием перекисных соединений; токсичность повышается в присутствии кислорода. Введение в молекулу ФУ одного атома хлора, брома или йода значительно повышает и наркотическое действие, и токсичность. Введение двух атомов этих галогенов еще более усиливает действие ФУ. Токсическое действие при введении атомов брома сильнее, чем при введении того же числа атомов хлора.

Несмотря на малую токсичность и химическую стойкость некоторых ФУ, при вдыхании их животными в ряде случаев наблюдались резкие изменения в дыхательных органах,

преимущественно в легочной ткани (кровоизлияния, отеки легких), часто связанные с действием продуктов разложения или гидролиза. При сильном нагревании ФУ тем более возможно токсическое действие продуктов их разложения, среди которых наиболее опасны HF, тетрафторметан, циклические ФУ, карбонильные соединения фтора (фторфосген) и др.

Органические окиси и перекиси

Общий характер действия. Среди органических окисей и перекисей (ОО и ОП) есть соединения как очень высокой, так и сравнительно небольшой токсичности. Ряд из них поражает центральную нервную систему. Все оказывают местное действие на кожу, слизистые оболочки глаз, верхних и глубоких дыхательных путей. В отношении кожи ОП более агрессивны, чем ОО. Те и другие проникают через неповрежденную кожу. Пары и аэрозоли могут вызвать отек легких. Некоторые обладают сенсибилизирующим кожное действие. Обладают также радиометрическим действием, с которым связывают мутагенные и канцерогенные эффекты. Первые показаны на бактериях и других объектах. В эксперименте установлено канцерогенное действие ряда ОО, содержащих две эпоксидные группы. Относительно медленное развитие опухолей получено при смазывании кожи животных. Случаи возникновения опухолей у человека при контакте с ОО и ОП неизвестны.

Механизм действия ОО и ОП еще недостаточно ясен: связывают его и с их окисляющей способностью, легкостью отщепления ими свободных радикалов (наиболее ядовитые перекиси легче образуют такие радикалы), а также с окислением ими ряда ферментов, содержащих тиоловую группу.

Спирты и фенолы

Токсическое действие. Одноатомные предельные углеводороды (С) – наркотики. Наркотическое действие при вдыхании паров с увеличе-

Продолжение прил. 2

нием молекулярной массы сначала нарастает, а затем падает из-за малой летучести. Начиная с ноля, общая токсичность меняется аналогично, но при неингаляционном пути поступления наиболее токсичен гексильный спирт. В моче одноатомные предельные С не концентрируются. Для этиленгликоля, пропиленгликоля и глицерина отношение концентраций в моче и плазме крови – в пределах 3–5.

Шестиатомные С сильно концентрируются в моче – отношение концентраций 40–60 (Клиническая).

Запах низших и средних предельных С – характерный алкогольный, иногда резкий специфический; высшие предельные одноатомные С не пахнут. Низшие непредельные С. имеют острый запах, высшие – приятный цветочный.

Благодаря высокому коэффициенту растворимости паров низших С в воде и в крови насыщение организма при вдыхании происходит медленно (как деление С через легкие). Поэтому быстрые острые отравления парами С практически невозможны. Однако при повторном вдыхании пары С могут накапливаться в организме, что опасно в случае метилового С из-за его специфичной токсичности. Быстрее всего в организме окисляется этиловый С, затем изопропиловый С; метиловый и бутиловый С задерживаются в крови дольше других С (исследованы С₁–С₅). Выраженным специфическим действием на зрение обладают следующие нормальные первичные С: метиловый, гексиловый, гептиловый, нониловый и дециловый. Сведения о той или иной степени изменения зрения имеются и о других С, исключая этиловый. Воздействие С с числом углеродных атомов больше 10 не изучалось. Электронномикроскопические исследования сетчатки глаза показали, что при хроническом действии метилового и высших С наблюдаются однотипные ультраструктурные изменения в фоторецепторных клетках и мюллеровских волокнах (Вендило и др.). Это заставляет опасаться сходного действия других высших С.

Нормальные первичные спирты (С₃–С₁₃) очень опасны при аспирации. Пары предельных С раздражают слизистые оболочки. У непредельных С раздражающее действие (особенно на глаза) преобладает над наркотическим. Токсичность двух- и многоатомных С, за исключением этиленгликоля, невысока, как и действие их на кожу.

Привыкание к С может сопровождаться развитием неспецифически повышенной сопротивляемости организма (в частности, к инфекции). Однако в дальнейшем обнаруживаются явные признаки вредного действия С.

Окончание прил. 2

Простые эфиры

Общий характер действия. Наркотики. Раздражают слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Некоторые поражают печень и почки.

Оксимы

Общий характер действия. Для оксимов (О) характерны токсические свойства альдегидов, кетонов и аминов, являющихся продуктами метаболизма О. Это слабые наркотики, обладающие также раздражающим действием на слизистые оболочки и кожу. Раздражающий эффект более выражен у галогенизированных О.

Длительное воздействие приводит к падению гемоглобина и числа эритроцитов, вызывает кровоизлияния во внутренних органах. Имеются сведения о метгемоглобинообразующих свойствах и мутагенной активности некоторых оксимов. Осложняют алкогольную интоксикацию, предположительно – за счет угнетения фермента альдегиддегидрогеназы, ответственного за окисление этилового спирта в организме.

При отравлении 2-оксоальдоксимами (изонитрозоацетон $\text{CH}_3\text{COCH} = \text{NOH}$, диизонитрозоацетон $\text{HON} = \text{CHCOCH} = \text{NOH}$) клиническая картина у белых крыс, кроликов и собак характеризовалась некоторыми особенностями, связанными с накоплением HCN в организме. При отравлении 2-оксокетоксимами (диацетилмонооксим), накопление HCN не обнаружено.

При контакте с бутиральдоксимом $\text{C}_3\text{H}_7\text{CH} = \text{NOH}$, входящим в состав типографских красок, у рабочих наблюдалось покраснение кожи на лице и теле, усиленное сердцебиение после приема алкоголя. Отмеченные симптомы сходны с побочными эффектами при лечении алкоголизма тетраэтилтиурамдисульфидом (антабусом) и обусловлены, по-видимому, накоплением продуктов неполного окисления спирта.

О – Метилкарбамоил-2-метил-2-(метилтио)пропиональдокеим $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{SCH}_3)\text{CH} = \text{NOCONHCH}_3$ – новый инсектицид системного антихолинэстеразного действия. Быстро всасывается в желудочно-кишечном тракте. Введение в желудок приводило к снижению активности холинэстеразы в цельной крови, плазме и головном мозге, Метаболизируется в организме, образуя малотоксичные соединения с $\text{LD}_{50} = 5,7 \div 16$ г/кг. Метаболиты выводятся преимущественно с мочой в виде парных соединений; с выдыхаемым воздухом удаляется в виде CO_2 . В органах белых крыс не накапливается.

Приложение 3

Средства индивидуальной защиты от вредных веществ

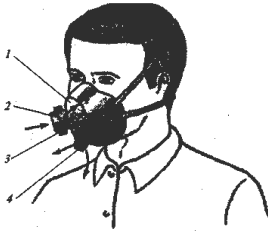


Рис. I. Патронный респиратор:
 1 – полумаска; 2 – клапан вдоха; 3 – фильтрующий патрон; 4 – клапан выдоха

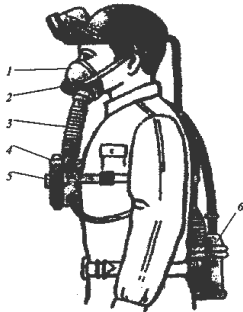


Рис. II. Респиратор с принудительной фильтрацией:
 1 – полумаска; 2 – клапан выдоха;
 3 – шланг; 4 – фильтрующий патрон;
 5 – микровентилятор; 6 – аккумуляторная батарея

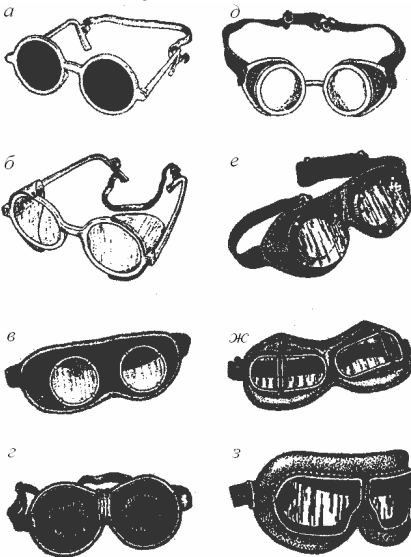


Рис. III. Основные типы защитных очков:
 а – С-2, открытые с капроновой оправой; б – С-3, открытые с боковой защитой; в – С-15, сетчатые со стеклами; г – С-10, сетчатые без стекол; д – С-12, чешуйчатые; е – С-33, закрытого типа; ж – С-5, шоферские; з – С-1, летные

Библиографический список

1. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): учеб. пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2004. – 319 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: учеб. / под ред. С.В. Белова. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 606 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.
4. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / О.Н. Русак, Д.А. Кривошей, Л.А. Муравей и др.; под. общ. ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
5. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для студентов средних спец. учеб. заведений / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.; под общей ред. С.В. Белова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 357 с.
6. Безопасность труда в строительстве (Инженерные расчеты по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»): учеб. пособие / Д.В. Коптев, Г.Г. Орлов, В.И. Булыгин и др. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 352 с.
7. Борьба с шумом на производстве: справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Брисов, И.В. Горенштейн и др.; под общ. ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
8. *Глебова, Е.В.* Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов / Е.В. Глебова. – М.: Высш. шк., 2007. – 382 с.
9. Гончарова, Е.Н. Медико-биологические безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Е.Н. Гончарова, Б.А. Храмцов, В.В. Янишин, О.А. Рыбка. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 180 с.

10. *Девисилов, В.А.* Охрана труда / В.А. Девисилов. – М.: ФОРУМ-ИНФРА–М, 2005. – 400 с.

11. *Девисилов, В.А.* Охрана труда / В.А. Девисилов. – М.: ФОРУМ-ИНФРА–М, 2008. – 447 с.

12. Еремин, В.Г. Безопасность жизнедеятельности в машиностроении: учеб. пособ. / В.Г. Еремин, В.В. Сафронов и др.; под ред. Ю.М. Соломина. – М.: Высш. шк., 2002. – 310 с.

13. *Занько, Н.Г.* Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / Н.Г. Занько, В.Н. Ретнев. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 2-е изд., стер. – 288 с.

14. Защита от шума в градостроительстве: справочник проектировщика / Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.; под ред. Г.Л. Осипова. – М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.

15. Звуко- и теплоизоляция ограждающих конструкций / НИИСК Госстроя СССР. – Киев: «Будівельник», 76 с.

16. *Измеров, Н.Ф.* Человек и шум / Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко. – М.: Геотар – Мед, 2001. – 380 с.

17. *Калмыков, А.В.* Борьба с пылью и шумом на обогатительных фабриках / А.В. Калмыков, Л.Ф. Журбинский. – М.: Недра, 1984. – 222 с.

18. *Лагунов, Л.Ф.* Борьба с шумом в машиностроении / Л.Ф. Лагунов, Г.Л. Осипов. – М.: «Машиностроение», 1980. – 150 с.

19. Медицина труда и промышленная экология. 2008. – № 6. – С.

20. Морозова, Л.Л. Безопасность жизнедеятельности. Приложение 2006, № 3. – С. 16–20.

21. Профессиональные заболевания: диагностика, лечение, профилактика: Справочник / Н.А. Скепьян, Т.В.

Барановская, Л.К. Першай; под ред. Н.А. Скепьяна. – Мн.: Беларусь, 2003. – 336 с.

22. *Румянцева, Е.Е.* Экологическая безопасность строительных материалов, конструкций и изделий: учеб. пособ. – М.: Университетская книга, 2005. – 200 с.

23. *Русак, О.Н.* Безопасность жизнедеятельности в техносфере: учеб. пособие / под ред. О.Н. Русака, В.Я. Кондратенко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – 431 с.

24. *Русак, О.Н.* Безопасность и охрана труда: учеб. пособие для вузов / под ред. О.Н. Русака. – СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2001. – 279 с.

25. *Садовникова, Л.К.* Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении; учеб. пособ. / Л.К. Садовникова, Д.С. Орлов, И.Н. Лозановская. – 3-е изд., перераб. – М.; Высш. шк., 2006. – 334 с.

26. Токсикологическая химия: учеб. для вузов / под ред. Т.В. Плетневой. – 2-е изд., испр. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. – 512 с.

27. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы, М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

Оглавление

Введение.....	3
1. Вредные вещества.....	4
1.1. Типы токсических доз и концентраций.....	5
1.2. Классификация вредных веществ.....	9
1.3. Пути поступления вредных веществ (ядов) в организм.....	15
1.3.1. Поступление токсикантов через желудочно-кишечный тракт...	15
1.3.2. Ингаляционное поступление токсикантов.....	16
1.3.3. Абсорбция вредных веществ через кожу.....	18
1.4. Действие вредных веществ на организм человека.....	19
1.5. Классификация отравлений.....	22
1.6. Профессиональные заболевания, вызываемые действием вредных веществ (ядов).....	23
1.7. Факторы, определяющие токсическое действие вредных веществ...	28
1.8. Основные источники вредных веществ.....	34
1.8.1. Состав и расчет выбросов загрязняющих веществ.....	34
1.8.2. Источники токсичных веществ в закрытых помещениях.....	43
1.9. Гигиеническое нормирование вредных веществ.....	46
1.10. Производственная пыль.....	51
1.10.1. Классификация производственной пыли.....	51
1.10.2. Физико-химические свойства пыли.....	53
1.10.3. Особенности действия пыли на организм человека.....	56
1.10.4. Гигиеническое нормирование содержания аэрозолей в воздухе рабочей зоны.....	59
1.11. Защита от вредных веществ на производстве.....	59
1.11.1. Производственная вентиляция.....	61
1.11.2. Методы и средства очистки воздуха от вредных веществ.....	68
1.12. Приборы и методы контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.....	85
2. Производственный шум.....	90
2.1. Основные понятия и определения.....	91
2.2. Воздействие шума на организм человека.....	100
2.3. Классификация шумов.....	104
2.4. Санитарно-гигиеническое нормирование уровней шума.....	107
2.5. Техническое нормирование шума.....	112
2.5.1. Технические нормы шума отдельных видов машин.....	114
2.5.2. Определение шумовых характеристик машин.....	118
2.5.3. Измерение шумовых характеристик конкретных видов машин.....	129
2.6. Методы и средства защиты от шума.....	134
2.6.1. Снижение шума в источнике.....	138
2.6.2. Строительно-акустические мероприятия по защите от шума....	140
2.6.3. Защита от шума путем применения дистанционного.....	145

управления машинами, средств индивидуальной защиты и организационно-технических мероприятий.....	
2.7. Механический шум.....	145
2.7.1. Зубчатые передачи.....	146
2.7.2. Редукторы.....	149
2.7.3. Кулачковые механизмы.....	152
2.7.4. Цепные передачи.....	154
2.7.5. Шум и вибрация от неуравновешенности вращающихся масс.....	155
2.7.6. Подшипники.....	155
2.7.7. Кузнечно-прессовое оборудование.....	157
2.7.8. Металло- и деревообрабатывающие станки.....	160
2.7.9. Машины для измельчения материалов.....	163
2.8. Аэрогидродинамические шумы.....	175
2.8.1. Классификация и основные причины аэрогидродинамических шумов.....	175
2.8.2. Источники шума в системах вентиляции.....	177
2.8.3. Затухание шума, распространяющегося по системе вентиляции.....	
.....	184
2.8.4. Средства снижения шума в вентиляционных системах.....	191
2.8.5. Шум центробежных насосов.....	194
2.8.6. Шум стационарных компрессорных установок.....	199
2.9. Шум электрических машин.....	211
2.10. Звукоизоляция.....	219
2.10.1. Звукоизоляция ограждениями воздушного шума.....	219
2.10.2. Звукоизоляция ограждающих конструкций кабин наблюдения, дистанционного управления, укрытий, кожухов.....	234
2.11. Звукопоглощение.....	235
2.12. Акустические экраны.....	251
2.13. Снижение шума при транспортировании материала.....	254
2.14. Средства индивидуальной защиты от шума.....	262
2.14.1. Требования к средствам индивидуальной защиты.....	264
2.14.2. Конструкция и характеристики средств индивидуальной защиты.....	
....	266
Приложения.....	272
Приложение 1.....	272
Приложение 2.....	299
Приложение 3.....	305
Библиографический список.....	306

Учебное издание

Залаева Светлана Шагитовна
Носатова Елена Анатольевна
Рыбка Оксана Александровна

Производственная санитария и гигиена труда
Часть 2
Вредные вещества. Производственный шум

Учебное пособие

Подписано в печать 30.12.08. Формат 60×84/16. Усл.печ.л. 18,0. Уч-изд.л. 19,4.

Тираж 80 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом
университете им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46